

FISKEN OG HAVET, SÆRNUMMER 2 - 1999

ISSN 0802 0620

# HAVETS MILJØ

## 1999

Redaktør  
Jan Aure

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

Mars 1999

# INNHOOLD

FORORD .....	5
PROGNOSE FOR 1999 .....	8
PROGNOSIS FOR 1999 .....	9
SAMMENDRAG .....	10
SUMMARY .....	12
<b>1. ØKOSYSTEMET I BARENTSHAVET .....</b>	<b>14</b>
1.1. Havklima.....H. Loeng	14
1.2. Plankton.....A. Hassel	18
1.3. Yngelproduksjon.....P. Fossum	21
<b>2. ØKOSYSTEMET I NORSKEHAVET OG PÅ KYSTEN .....</b>	<b>22</b>
2.1. Havklima.....J. Blindheim og J. Aure	22
2.2. Plankton og næringssalter .....B. Ellertsen, F. Rey og W. Melle	31
2.3. Yngelproduksjon.....P. Fossum	39
<b>3. ØKOSYSTEMENE I NORDSJØEN OG SKAGERRAK .....</b>	<b>41</b>
3.1. Havklima .....D. Danielssen og E. Svendsen	41
3.2. Plankton og næringssalter.....D. Danielssen E. Dahl og J. Aure	50
3.3. Skadelige alger .....E. Dahl	55
<b>4. FORURENSING .....</b>	<b>60</b>
4.1. Forurensing .....J. Klungesøyr	60
<b>AKTUELLE TEMA.....</b>	<b>63</b>
Kan opptak av atmosfærisk CO <sub>2</sub> i Grønlandshavet reducere virkningen av "drivhuseffekten"?	
Lisa Miller, Francisco Rey og Thomas Noji.....	63
Lysing i namibiske farvann - en økologisk tilpasning til et oppstrømningssystem.	
Svein Sundby, Morten Skogen og Olav Kjesbu.....	68
Giftalger og algegifter i norske farvann.	
Einar Dahl, Tore Aune og Karl Tangen.....	76
Kva inneber taretrålinga for fisken?	
Kjersti Sjøtun.....	82
Produsert vann - sammensetning og effekter på det marine miljø.	
Asbjørn Svardal.....	87
Varsling av temperaturen i Barentshavet.	
Harald Loeng, Geir Ottersen og Bjørn Ådlandsvik.....	92
Klimavariasjoner i Norskehavet gjennom de siste tiårene.	
Kjell Arne Mork og Johan Blindheim.....	94
Sildas beiting i Norskehavet; grunnlaget for høsting av bestanden.	
Jens Christian Holst og Webjørn Melle.....	100

# FORORD

Havforskningsinstituttets oppgave er gjennom forskning å fremskaffe kunnskapsgrunnlaget for en bærekraftig forvaltning av havmiljøet og for en økologisk forsvarlig høsting av våre fiskeresurser. Det er et nært samspill mellom havmiljøet og fiskebestandene. Variasjoner i havmiljøet eller havklimaendringer virker inn både på den geografiske fordelingen av fiskebestandene samt på deres vekst og rekruttering. Våre havområder tilføres årlig betydelige mengder forurensninger. Overvåkning av forurensningsnivået er viktig både for å kunne få varsel om mulige økologiske skadevirkninger og som en renhetsgaranti for norske fiskeprodukter. Miljøundersøkelser har derfor alltid hatt en fremtredende plass i Havforskningsinstituttets virksomhet.

I oversikten over Havets miljø har HI i flere år gitt prognoser for vekstforholdene for lodde i Barentshavet. I 1994 startet vi arbeidet med også å gi varslere for klimaet i våre havområder for de nærmeste årene. Basisen for disse varslene er studier av de lange tidsseriene av temperatur og saltholdighet. Disse seriene viser at klimaet varierer mye på samme måte som i atmosfæren og at vi kan snakke om varme og kalde år i havet. Årsakene til slike variasjoner er vanskelig å fastslå, men de henger sammen med samspillet mellom hav og atmosfære over større områder. Prosessene i havet skjer mye langsommere enn i atmosfæren, og åpner mulighetene for å varsle klimaendringer i havet mye lenger fram i tid enn det som er mulig i atmosfæren. Varslene fremkommer ved å bruke forskjellige statistiske metoder på de lange observasjonsseriene kombinert med erfaringen om utviklingen i tilsvarende klimatiske situasjoner.

Denne rapporten tar sikte på å beskrive miljøtilstanden for norske hav- og kystområder i 1997. Med miljøtilstanden mener vi her havets fysiske og kjemiske tilstand, produksjonsforhold og næringsforhold for fisk samt forurensningssituasjonen.

Havforskningsinstituttet driver i hovedsak tre typer overvåkning av miljøet i havområdene omkring Norge:

## Kystovervåkning

Denne består av et system av:

- Faste hydrografiske kyststasjoner som tas av lokale observatører
- Termografjenesten - observasjoner av temperatur og saltholdighet fra rutegående fartøy
- Fjordovervåkning - hydrografiske og kjemiske målinger i utvalgte fjorder

## Forurensningsovervåkning

Denne overvåkingen gjennomføres regelmessig i fjorder, i kystfarvann og havområder (Nordsjøen og Barentshavet). Hovedinnsatsen er på organiske miljøgifter, tungmetaller og radioaktivitet både i vann, i sedimenter og i organismer. Overvåking er også knyttet til petroleumsaktiviteten på norsk sokkel samt til næringsssalter og overgjødning.

## Overvåking av klima - og produksjonsforhold i havområdene

Dette er et system av faste oseanografiske snitt som gjentas med regelmessige mellomrom, kom-

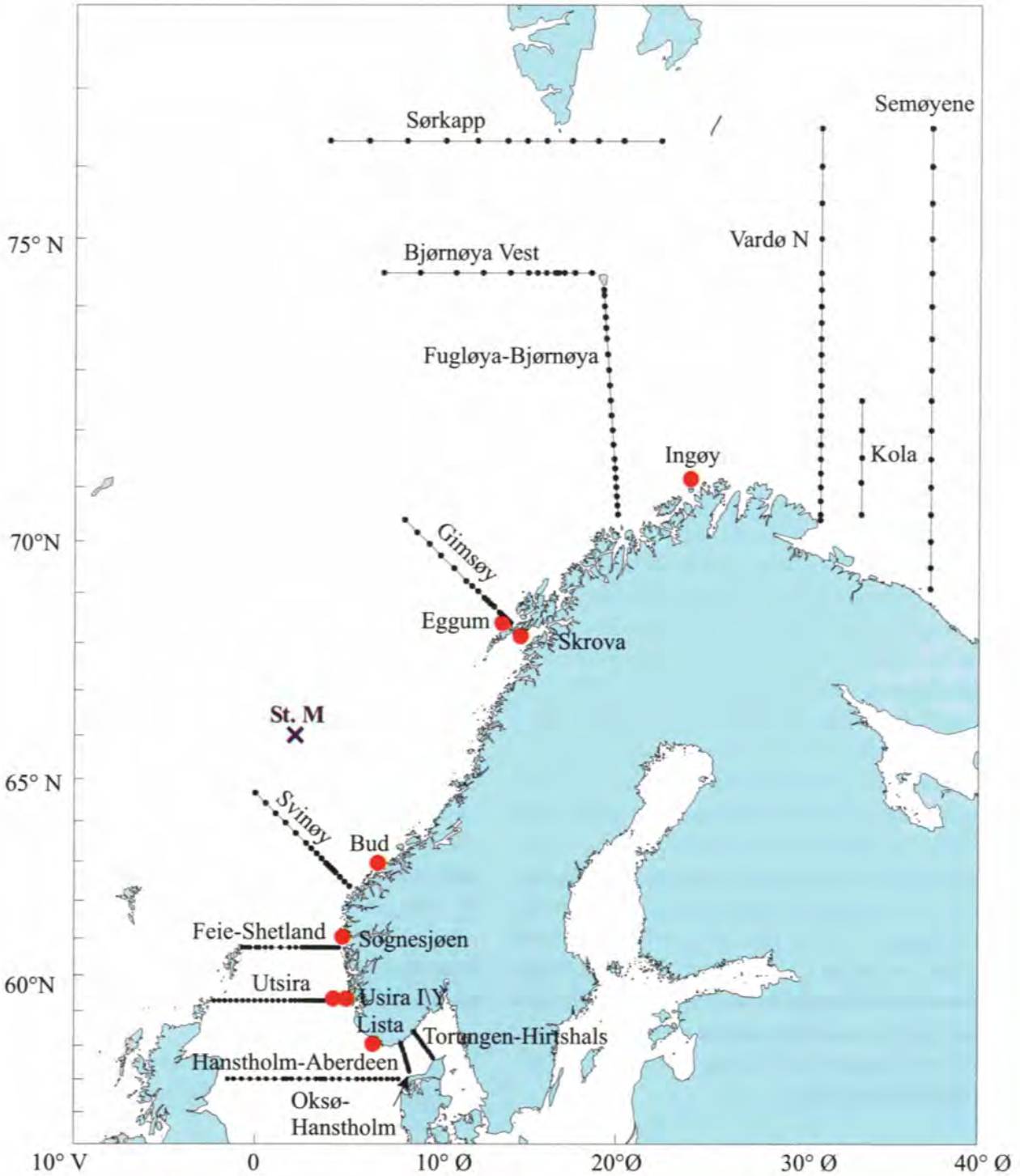
Denne rapporten refereres slik: *This report should be cited:  
Aure, J. et al, Havets miljø 1999, Fiskerihav, Særnr. 2:1999*

binert med en mindre hyppig regional dekning for overvåkning og tilstandsvurdering av:

- Havklima
- Plante- og dyreplanktonproduksjon

- Rekruttering og tilstanden i fiskebestandene

Her er også inkludert overvåkning av skadelige alger.

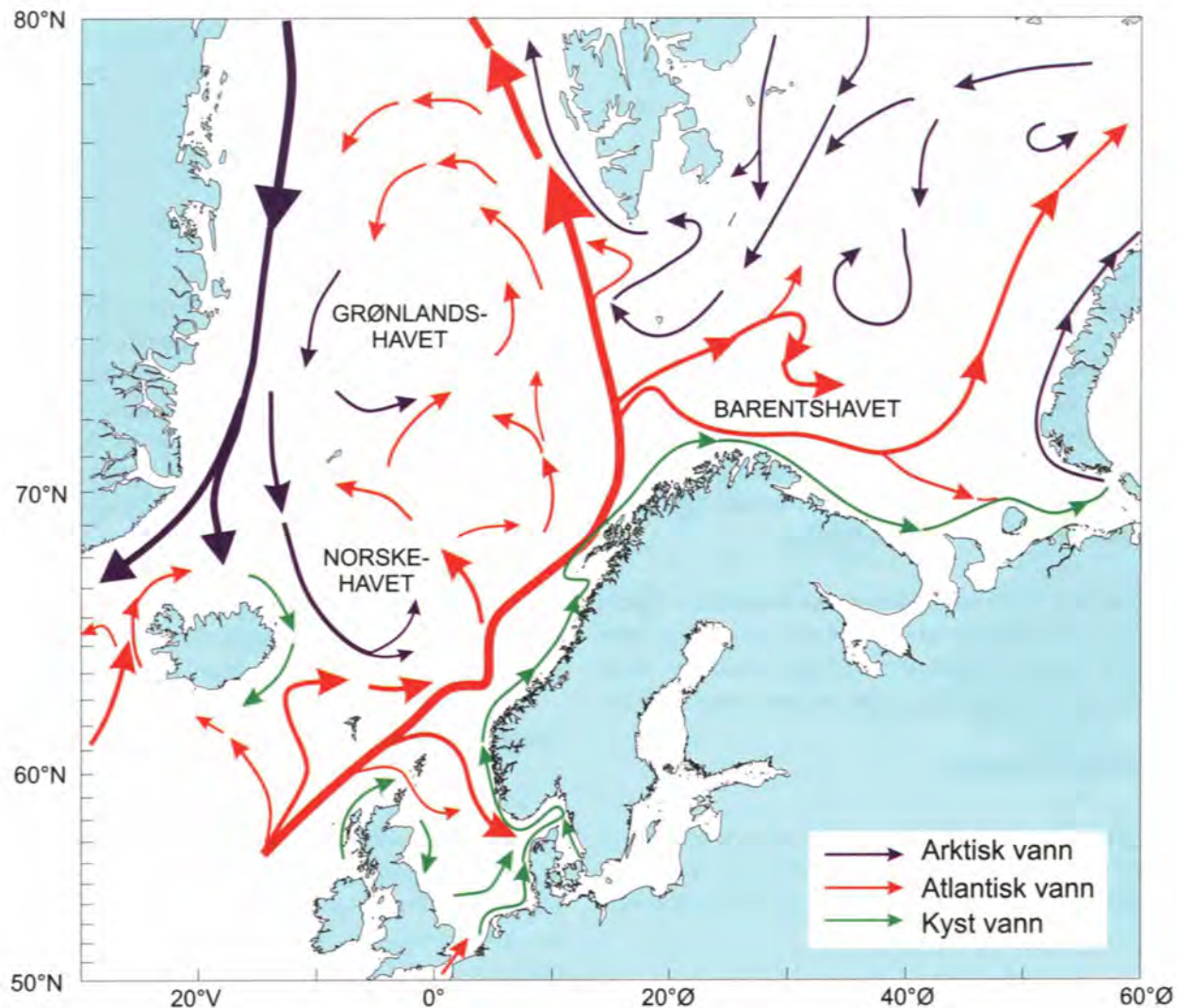


**Figur 0.1** Faste oseanografiske snitt og stasjoner.  
*Fixed oceanographic sections and stations.*



Vi takker for at vi har fått anledning til å benytte data fra Havforskningsinstituttet i Reykjavik, Fiskerilaboratoriet på Færøyene, Geofysisk Institutt - Universitetet i Bergen og Marine Laboratory, Aberdeen.

Redaksjonskomité for Havets Miljø 1999 har vært: Jan Aure (redaktør), Roald Sætre, Kari Østervold Toft, Hege Iren Svensen og Karen Gjertsen.



**Figur 0.2** Midlere strømforhold i Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet.  
*The mean current system of the Nordic and Barents Seas.*

# PROGNOSE FOR 1999

## Havklimaet

Tilførselen av varmt atlantisk vann til Norskehavet vil fortsatt være stor, og det ventes derfor forholdsvis høye temperaturer langs innstrømningsruten i østlige delen av Norskehavet og i dypere lag langs norskekysten. Vest av Svalbard vil temperaturen øke i løpet av vinteren.

I vestlige og sentrale deler av Barentshavet vil økte tilførsler av atlantisk vann føre til temperaturer over langtidsmiddelet. Det forventes etterhvert også en temperaturøkning i østlige deler av Barentshavet.

Den vestlige delen av Norskehavet vil i hovedsak fortsatt være preget av relativt ferskt, kaldt arktisk vann med temperatur under langtidsmidlet. Det er imidlertid tegn på en økende innflytelse av atlantisk vann i øvre lag av det sentrale Norskehavet, med økende temperatur og saltholdighet.

Tendensen til økt saltholdighet og temperatur i dypere lag over Nordsjøplatået og i Norskerenna vil fortsette i 1999. Temperaturene vil trolig ligge over det normale i øvre lag av Nordsjøen og Skagerrak vinteren 1998.

## Produksjonsforhold

Overvintringsbestanden av dyreplankton synes å gi grunnlag for tilnærmet normale næringsforhold for lodde, norsk vårgytende sild og fiskeyngel i Barentshavet.

- \* 1998-årsklassen av lodde i Barentshavet synes å være middels tallrik.
- \* 1998-årsklassen av lodde vil bidra til å lette beitepresset på småsild i Barentshavet.
- \* 1998-årsklassen av sildelarver var meget tallrik og med fortsatt god overlevelse er det muligheter for en ny sterk årsklasse av norsk vårgytende sild.

Den økende innflytelse av atlantisk vann i øvre lag i det sentrale Norskehavet, vil trolig bedre produksjonsforholdene og gi økt individuell vekst hos norsk vårgytende sild sommeren 1999.

En statistisk analyse for Nordsjø-sild for perioden 1951-1998 viser en relativt stram sammenheng mellom rekrutteringsindekser, vindforholdene i gytetiden om høsten, og gytebestandens biomasse. Basert på denne sammenheng forventes rekrutteringen i 1999 å ligge litt høyere enn gjennomsnittet for perioden.

## Fiskefordeling

I Norskehavet vil utbredelsen av vann med arktisk opprinnelse føre til en fortsatt redusert vestlig utbredelse av norsk vårgytende sild. Bedrete beiteforhold i den sentrale delen av Norskehavet vil trolig også bidra til å redusere den vestlige utbredelse. Vi venter derfor at silda vil fordele seg omtrent som de siste par årene, da bare en liten del av bestanden trakk inn i islandsk sone.

Høyere temperaturer i vestlige og sentrale deler av Barentshavet vil trolig periodevis gi økt tilgjengelighet av torsk i den sørlige del av «Smuthullet».

## Langtidsprognose

I 1998 ble det observert en betydelig innstrømning av varmt atlantisk vann til østlige deler av Norskehavet. Innstrømningen førte til en markert temperaturøkning i nordlige deler av Nordsjøen, langs hele norskekysten og i januar 1999 også i vestlige og til dels sentrale deler av Barentshavet. Det forventes at det varme atlantiske vannet også snart når vestkysten av Svalbard og fortsetter innover i Barentshavet i 1999.

Sist vi hadde en tilsvarende "varmebølge" med atlantisk vann var i slutten av 1980-årene, og erfaringer fra en rekke slike hendelser viser at temperaturene kan holde seg forholdsvis høye i en periode på 3 - 5 år. Det er derfor stor sannsynlighet for at den kommende varmeperiode kan vare fram til om lag 2001.

Våre fiskebestander er som regel i best forfatning og gir de sterkeste årsklassene i år med store tilførsler av atlantisk vann og høye sjøtemperaturer.

# PROGNOSIS FOR 1999

---

## Ocean climate

The inflow of Atlantic water to the Nordic Seas will continue to be at a high level. Consequently, relatively high temperatures are expected along the route of the inflow in the eastern part of the Norwegian Sea and in the deeper layers along the Norwegian coast. West of Svalbard the temperature is expected to increase during the coming winter.

In the western and central parts of the Barents Sea the increased inflow of Atlantic water will result in temperatures above the long-term mean. Gradually, the temperature also will increase in the eastern parts.

The western part of the Norwegian Sea will continue to be characterised of relatively cold and fresh Arctic water of temperatures below the long-term mean. However, there is some indications on increasing influence of Atlantic water in the upper layer of the Central Norwegian Sea with increasing temperature and salinity.

The tendency towards increasing salinity and temperature in the deeper layer over the North Sea Plateau will continue in 1999. The temperature will probably be above the long-term mean during the winter 1999.

## Ocean production

The wintering stock of zooplankton in the Barents Sea appears to be sufficient for approximately normal feeding conditions for capelin, Norwegian spring spawning herring and juvenile fish.

The 1998 year class of capelin in the Barents Sea appear to be of average size and will contribute to reduced predation pressure on juvenile Norwegian spring spawning herring.

The 1998 production of Norwegian spring spawning herring larvae and juvenile were high, and if the survival rate remains high, the 1998 year class of Norwegian spring spawning herring will be strong.

The increased influence of Atlantic water in the upper layer in the central Norwegian Sea will most likely improve the conditions for biological production and increase the individual growth of Norwegian spring spawning herring during the summer 1999.

A statistical analyses for North Sea herring during the period 1951-1998 shows a rather strict relationship between the recruitment on one side and on the other side the spawning biomass and the wind conditions during the spawning period. Based on this relationship the prediction for the recruitment to the North Sea herring in 1999 is expected to be slightly higher than the average for the same period.

## Fish distribution

In the Norwegian Sea the extension of water of arctic origin will still result in reduced western distribution of the Norwegian spring spawning herring. Improved feeding conditions in the central Norwegian Sea will also probably contribute to reduce the western distribution. We therefore expect the herring distribution in the Norwegian Sea to be at the same level as in the last couple of years where only a minor part of the stock migrated into the Icelandic zone.

Higher temperatures in the western and central parts of the Barents Sea will most likely occasionally increase the abundance of cod in the southern part of the so-called Loophole.

## Long-term prognosis

In 1998 a significant inflow of warm Atlantic water was observed in the eastern Norwegian Sea. The inflow resulted in a pronounced increase in temperature, in the Northern North Sea, along the Norwegian coast and in January 1999 in the western and central part of the Barents Sea. It is expected that the warm Atlantic water soon will reach west coast of Svalbard and further intrude the Barents Sea in 1999.

Last time we had a similar «heat wave» of Atlantic water was at the end of the 1980's, and the experience from such events shows that the temperature may continue to be at a high level for a period of 3-5 years. Consequently, there is a high probability for the coming warm period to last until approximately 2001. Our fish stocks are usually in better conditions and have the strongest year classes in years with large inflow of Atlantic water and high sea temperatures.



# SAMMENDRAG

Temperaturen i atlantisk vann i det østlige Norskehavet har økt kraftig siden 1996, og var i 1998 den høyest som er observert etter 1978. Sentrale og vestlige Norskehavet og nord-islandske kystområder fikk fortsatt store tilførsler av kaldt, ferskt arktisk vann. Den vestlige delen av Barentshavet fikk tilførsler av unormalt varmt vann i slutten av året, mens det fortsatt var kaldt i øst.

I 1998 fant vi store mengder lodde- og sildelarver. Silda hadde gode næringsforhold og overlevde godt. Loddelarvene ble utsatt for mye beiting, men 1998-årsklassen av lodde synes likevel å være middels tallrik. Planktonproduksjonen i Norskehavet tidlig i sesongen var klart høyere enn i foregående år, men var litt under det normale i Barentshavet. Den økte produksjonen av dyreplankton i Norskehavet førte til betydelig bedre beiteforhold for silda.

Våren 1998 fikk vi en stor oppblomstring av en hittil ukjent skadelig alge, *Chattonella*, i sørøstlige deler av Nordjøen og i Skagerrak. Ca 350 tonn oppdrettslaks gikk tapt i Vest-Agder, og det ble observert død villfisk i Skagerrak og langs vest- og nordkysten av Jylland.

Havets miljø er en viktig økologisk faktor som påvirker den biologiske tilstanden i havet. Variasjoner i havmiljøet og endringer i havklimaet virker inn på den geografiske fordelingen, vekst og rekruttering hos fisk. Våre fiskebestander er som regel i best forfatning og gir de sterkeste årsklassene i år med store tilførsler av atlantisk vann og høye sjøtemperaturer.

## Havklima

I 1998 fortsatte temperaturøkningen i kjernen av innstrømmende atlantisk vann i østlige Norskehavet. Temperaturen har steget betydelig siden 1996, og i 1998 observerte vi den høyeste siden de systematiske målingene startet i 1978. Temperaturøkningen er også tydelig i innløpet av Barentshavet, men det er ennå ikke observert i atlantisk vann i de nordøstligste områdene av Norskehavet (vest av Svalbard). I kystvannet var det tilnærmet normale temperaturforhold i 1998. Unntaket var Nord-Norge, der den varme sommeren førte til unormalt høye sjøtemperaturer fra juni til september.

I det sentrale og vestlige Norskehavet har langtids-

trenden pekt mot lavere saltholdighet og temperatur. Dette skyldes økte tilførsler av kaldt, ferskt arktisk vann fra Polhavet via Øst-Islandsstrømmen til Norskehavet. Selv om mengden av atlantisk vann igjen har økt noe de to siste årene, domineres området fremdeles av arktiske vannmasser.

I vestlig og sentrale deler av Barentshavet har det vært en gradvis nedgang i temperaturene etter den varme perioden omkring 1990. Fra 1995 og fram til begynnelsen av 1998 lå temperaturene stort sett under langtidsmiddelet. Utover i 1998 var det en gradvis temperaturøkning, og fra oktober 1998 til januar 1999 kom en til dels betydelig temperaturøkning i vestlige deler av Barentshavet. Temperaturen i januar 1999 lå ca 1°C over langtidsmidlet. Vi må tilbake til vinteren 1983 for å finne så høye temperaturer. I østlige Barentshavet var det fortsatt kaldt i 1998, og betydelig mer is enn året før. Isgrensen lå store deler av vinteren sør for 74°N, og i enkelte områder også sør for 73°N. Vi må tilbake til den kalde perioden før 1981 for å finne tilsvarende store ismengder i Barentshavet.

Temperaturen i vannmassene over store deler av Nordsjøen og Skagerrak var relativt høye vinteren og våren 1998, i middel om lag 1,5 grader varmere enn det normale i overflatelaget. I februar 1998 var temperaturen i overflatelaget 5 - 6 °C i østlige - sørøstlige Nordsjøen, som er blant de høyeste som er observert de siste 100 år. Sommeren 1998 var kald med lite sol og temperaturene i overflatelaget lå stort sett noe under normalen sommeren/høsten 1998. Etter 1995 har temperatur og saltholdighet i bunnære lag i nordlige Nordsjøen og i innstrømmende atlantisk vann gradvis økt. Etter en forbigående nedgang i 1996, knyttet til redusert innstrømning av atlantisk vann, fortsatte temperaturøkningen både i 1997 og 1998.

## Produksjonsforhold

Fra 1991 til 1994 var det en tydelig tendens til en økende biomasse av dyreplankton i alle deler av Barentshavet, og nordøst i Barentshavet fortsatte økningen til 1995. Senere har planktonmengden stort sett gått ned, men i de østlige delene har det bare vært små endringer. Den totale biomassen av dyreplankton i 1998 var litt lavere enn gjennomsnittet for 1994-1998.

Med unntak av 1996, har våroppblomstringen på

værskipsstasjon "M" i Norskehavet etter 1991 inntruffet tidligere for hvert år og har kortere varighet. Årsaken er ennå uklar, men mye tyder på at den økte transporten av arktisk vann til Norskehavet via Øst-Islandstrømmen kan være en viktig faktor. Etter en tilnærmet normal våroppblomstring i 1997, var våroppblomstringen i 1998 ca tre uker tidligere enn det tidligste vi før har observert ved stasjon M. Tendensen til tidligere våroppblomstring betyr trolig mye for dyreplanktonproduksjonen, da utviklingen av dyreplankton i Norskehavet er knyttet til tidspunktet for våroppblomstring. Biomassen av dyreplankton i Norskehavet var klart høyere i mai 1998 enn i foregående år. Men den høye biomassen avtok raskt, og i løpet av juli var den noe lavere enn i 1997.

Siden 1992 har den individuelle veksten hos norsk vårgytende sild gått gradvis nedover. Fra 1994-1995 er både vekt og kondisjon blitt markert dårligere, med 1997 som et foreløpig bunnår. Vekstreduksjonen har vært størst hos den voksne silda, noe som spesielt går ut over gyteproduktene. Antall gyte egg går ned og eggkvaliteten blir dårligere. Sildas vekstreduksjon de siste årene skyldes trolig blant annet dårligere beiteforhold i Norskehavet og økende bestand. Den økte dyreplanktonproduksjonen i 1998 førte til betydelig bedre beiteforhold for silda i Norskehavet.

Loddelarveindeksen i juni 1998 var den høyeste som er registrert siden undersøkelsene startet tidlig på 1980-tallet, men under 0-gruppe toktet på høsten ble det påvist mindre loddeyngel enn i 1997. 1998-årsklassen av lodde synes dermed å være middels tallrik. Mye av larvene som ble observert i juni synes å være beitet av sild i løpet av sommermånedene. På tross av dette er det tegn som tyder på god vekst i loddebestanden i Barentshavet.

Mengdene sildelarver langs norskekysten var lavere i 1998 enn i rekordåret 1997, men årets indeks var likevel den nest høyeste etter 1985. Det ser også ut til at en stor del av sildelarvene hadde et vellykket første næringsopptak og vokste godt. Dette var spesielt tydelig i kjerneområdet mellom Møre og Trøna hvor antallet velutviklede larver var bortimot dobbelt så høyt som vanlig i andre år. Et annet uttrykk for sildelarvenes gode vekst var høy gjennomsnittslengde. Årets sildegylting ser foreløpig vellykket ut, men mye må falle på plass for at vi skal få en ny årsklasse like sterk som i 1983, 1991 og 1992.

Prognosen for fiske av hestemakrell basert på beregnet innstrømning av atlantisk vann til Nordsjøen vinteren 1997, tilsa en fangst rundt 65.000 tonn

høsten 1997. Den totale fangsten høsten 1997 ble omlag 45.000 tonn. Fangstprognosen for 1998 viste en reduksjon på rundt 35.000 tonn i forhold til 1997, mens den virkelige reduksjon ble ca 30.000 tonn.

### Skadelige alger og forurensing

Vinteren 1998 var det høyere nitratkonsentrasjoner langs den danske Skagerrakkysten enn i 1997. I siste halvdel av april ble det observert unormalt høye nitratkonsentrasjoner i området fra den danske vestkysten til sørlige og østlige Skagerrak.

I 1998 ble problemene på grunn av skadelige alger større enn vanlig. I begynnelsen av mai forårsaket flagellaten *Chattonella* aff. *verruculosa*, muligens i kombinasjon med en slektning, *Heterosigma akashiwo*, fiskedød i oppdrettsanlegg i Farsund- og Flekkefjordområdet. Ca 350 tonn, mest stor laks, døde. Det var første gang denne *Chattonella*-algen ble registrert i Europa, og første gang den opptrådte i masseforekomster og forårsaket fiskedød. Masseforekomster av *Chattonella* ble først observert i slutten av april. Den spredte seg til vestkysten av Sverige og til kysten av Sørlandet i begynnelsen av mai. Endringer i strømforholdene stoppet etterhvert tilførselen av *Chattonella* til norskekysten, og den ble bare observert flekkvis i en kort periode nord for Jæren. Senere ble tette forekomster observert langs vest- og nordkysten av Jylland. Her ble død horn gjel, sild og tobis observert. Masseforekomstene av *Chattonella* i Skagerrak og langs vestkysten av Jylland var knyttet til vannmasser med unormale næringssaltkonsentrasjoner, og det er trolig de store menneskeskapte tilførselen av nitrat fra sørlige Nordsjøen som har stimulert oppblomstringen.

Skjelligiftalgene *Alexandrium* og *Dinophysis* var relativt tallrike i Skagerrak i 1998. *Alexandrium* dukket opp i slike mengder i mai at skjell i Aust- og Vest-Agder i en periode inneholdt paralytiske gifter over faregrensen. *Dinophysis acuta* var mer tallrik enn vanlig i slutten av september, og mengden diarégivende gift i skjellene økte til over faregrensen. Forekomsten av *D. acuta* og *D. acuminata* holdt seg relativt godt utover høsten og skjellene forble litt giftige ut året. Fra Rogaland til Finnmark var problemene med algegifter i skjell nokså normale. Som tidligere år er det på stasjonen i Sognefjorden (Menes) at *Dinophysis* registreres mest på Vestlandet. På denne stasjonen ble det også advart mot konsum av skjell på grunn av store forekomster av *Pseudo-nitzschia* et par uker i september uten at giftighet ble påvist.



# SUMMARY

**The temperature in the Atlantic water in the eastern part of the Nordic Seas has had a considerable increase since 1996, and was in 1998 the highest observed since 1978. In the central and western parts of the Nordic Seas and in the coastal areas of Northern Iceland, the inflow of cold, less saline water dominated. The western part of the Barents Sea also had an inflow of water warmer than normal at the end of the year. However, in the eastern part it remained cold.**

**In 1998 both herring and capelin larvae were abundant. The feeding conditions for herring were good and survival was high. Capelin larvae were exposed to heavy predation, but the 1998 year-class still seems to be of average strength. Early in the season, the production of plankton in the Nordic Seas was significantly higher than in previous years, while the production was below normal in the Barents Sea. Increased production of zooplankton in the Nordic Seas improved the feeding conditions for the herring.**

**During the spring of 1998 a harmful algae bloomed in southern parts of the North Sea and in Skagerrak. This blooming caused losses of around 350 tonnes of farmed salmon in Vest Agder, and wild fish were found dead in Skagerrak and along the west and northern coast of Denmark.**

The marine environment is an important ecological factor which influences the biological condition of the oceans. Environmental variability and fluctuations in ocean climate have a strong impact on the distribution, growth and recruitment of fish.

## Ocean climate

In the core of inflowing Atlantic water in the eastern part of the Nordic Seas the temperature continued to increase during 1998. The temperature has increased since 1996, and in 1998 it was among the highest observed since systematic measuring started in 1978. The increase in temperature is also significant in the entrance to the Barents Sea, however, Atlantic water is still not found in the north eastern parts of the Nordic Seas (west of Svalbard). In the coastal waters, the temperatures were around normal in 1998, except for the northern part of Norway where the warm summer lead to higher sea temperatures than normal from June to September.

In the central and western parts of the Nordic Seas a trend towards less saline water and lower temperatures have been observed over years. This is due to the increased inflow of cold and less saline Arctic water from the Polar Sea via the East-Icelandic Currents to the Nordic Seas. Even though the amount of Atlantic water again has increased somewhat over the last two years, this area is still dominated by Arctic water.

In the western and central parts of the Barents Sea, the temperatures have gradually decreased after the warm period around 1990. From 1995 to the beginning of 1998 the temperatures were below the longterm average. During 1998 they gradually increased, and from October 1998 to January 1999 a marked increase in temperatures took place in the western parts of the Barents Sea. In January 1999 the temperature was 1°C over the long-term average, a situation which have not occurred since the winter of 1983. The eastern part of the Barents Sea remained cold in 1998 and had considerably more ice during the winter than in the year before. The ice border stayed south of 74°N most of the winter and some where found in areas south of 73°N also. To find similar ice conditions, we would have to go back to the cold period that ended in 1981.

The water temperature in larger areas of the North Sea and Skagerrak was relatively high during the winter and spring of 1998, in average of about 1,5 degrees higher than normal in the surface layer. In February 1998, the temperature in the surface layer was between 5-6°C in eastern and south-eastern parts of the North Sea, which is among the highest ever observed over the last 100 years. After June 1998 the summer was cold with very little sun, and the temperatures in the surface layer stayed below normal during that summer and autumn. In the period after 1995 the temperatures and the salinity have gradually increased in the layers nearer the bottom in the northern parts of the North Sea and in the inflowing Atlantic water. After an intermediate decrease in 1996, which was due to the reduced inflow of Atlantic water, the increase in temperatures continued both in 1997 and 1998.

## Ocean production

From 1991 to 1994 there was a significant trend towards increasing biomass of zooplankton in all parts of the Barents Sea, and this increase continued in the north eastern part until 1995. Over the last years, the amount of plankton has decreased in the eastern parts, however,

there has been only minor changes. In 1998 the total biomass of zooplankton in this area was just below the 1994-1998 average.

Appart from 1996, it seems like the spring bloom at Ocean Weather Station M in the Nordic Seas has taken place earlier and lasted for a shorter period each year since 1991. The reason for this is not yet clear, however, increased transport of Arctic water to the Nordic Seas via the East-Icelandic Currents might be an important factor. After an almost normal spring bloom of phytoplankton in 1997, the bloom of 1998 was the earliest ever observed at Station M. The tendencies towards this early spring bloom would probably have a strong impact on the zooplankton production in the Nordic Seas because the development of the zooplankton is closely connected to the time of the spring bloom. The biomass of zooplankton in the Nordic Seas was significantly higher in May 1998 than in previous years. This high biomass, however, rapidly decreased and during July it was lower than in 1997.

The individual growth of herring in the Norwegian Sea has gradually decreased since 1992. From 1994-1995 the decreases in weight and condition have been considerable with 1997 as the poorest year so far. This growth reduction has been most prominent in the mature part of the stock which especially affects the spawning products. Fewer eggs are spawned and the egg quality is reduced. This growth reduction is probably resulted from poorer feeding conditions and increasing stock size. The increased production of zooplankton in the Norwegian Sea in 1998 improved the feeding conditions for the herring considerably.

The capelin larvae index in June 1998 was the highest registered since the investigations started in the early 80's. During the 0-group survey, less larvae were observed than in 1997. The 1998 year-class therefore seems to be of average abundance. Additionally, a large amount of the larvae observed in June seems to have been predated mainly by herring during the summer. In spite of this, there are signs of good growth in the capelin stock in the Barents Sea.

In 1998 the amount of herring larvae along the Norwegian Coast were less than in the record year of 1997. However, the herring larvae index of 1998 is the second highest since 1985. It also seems that a large porportion of the herring larvae has had a successful first feeding in 1998 and resulted in good growth. This was very visible in the core area between Møre and Træna where the number of well developed larvae was nearly double d to what was found earlier. Another sign of the herring larvae's growth is it's high average length. The herrings spawning in 1999 also seems to have been successful,

but still there is a long way to go to have a year-class as strong as 1983, 1991 and 1992.

The prognosis for the horse mackerel fishery based on estimated inflow of Atlantic water to the North Sea in 1997 gave a catch amounting to 65.000 tonnes in the autumn of 1997. The total catch amounted to around 45.000 tones. The prognosis for the 1998 catch showed an expected reduction of around 35.000 tonnes compared to 1997, while the real reduction amounted to 30.000 tonnes.

### Harmful algae and pollution

During the winter of 1998, higher concentrations of nitrate were found along the Danish Skagerrak coast than in the previous year. At the end of April, higher concentrations of nitrate, more than the normal amount were observed in the whole area from the Danish coast to the south and eastern part of Skagerrak.

Problems caused by harmful algae turned out to be greater than usual in 1998. In the beginning of May the flagellate *Chattonella* aff. *verruculosa*, probably in combination with a relative *Heterosigma akashiwo*, caused the death of fish in farms in the Farsund and Flekkefjord area. Around 350 tonnes of salmon died, mainly mature fish. This was the first time *Chattonella* was registered in Europe, and also the first time it had appeared in high concentrations which resulted in the death on fish. The high concentration of *Chattonella* was first observed at the end of April. From there the algae spread to the western coast of Sweden, and the whole area of Skagerrak at the beginning of May. Changes in currents stopped the inflow of *Chattonella* to the Norwegian coast and it was only observed in small areas for a short period north of Jæren. Later high concentrations were observed along the west and northern coast of Jylland, resulting in the death garfish, herring and sandeel. The high concentrations of *Chattonella* in Skagerrak and along the western coast of Jylland were found in water which contained unusual high concentrations of nutrients. Great amount sof human made nitrate from the south part of the North Sea has probably stimulated the algae bloom.

The mussel poisoning algae *Alexandrium* and *Dinophysis* were relatively numerous in Skagerrak in 1998. In May, *Alexandrium* appeared in such great quantities that the contained paralytic poison for a period in Aust- and Vest Agder. *Dinophysis acuta* were more numerous than normal at the end of September, and the amount of poison causing diarrhoea exceeded the dangerous level. The incidence of *D. acuta* and *D. acuminata* stayed high during the autumn and the mussels remained toxic untill the end of the year.



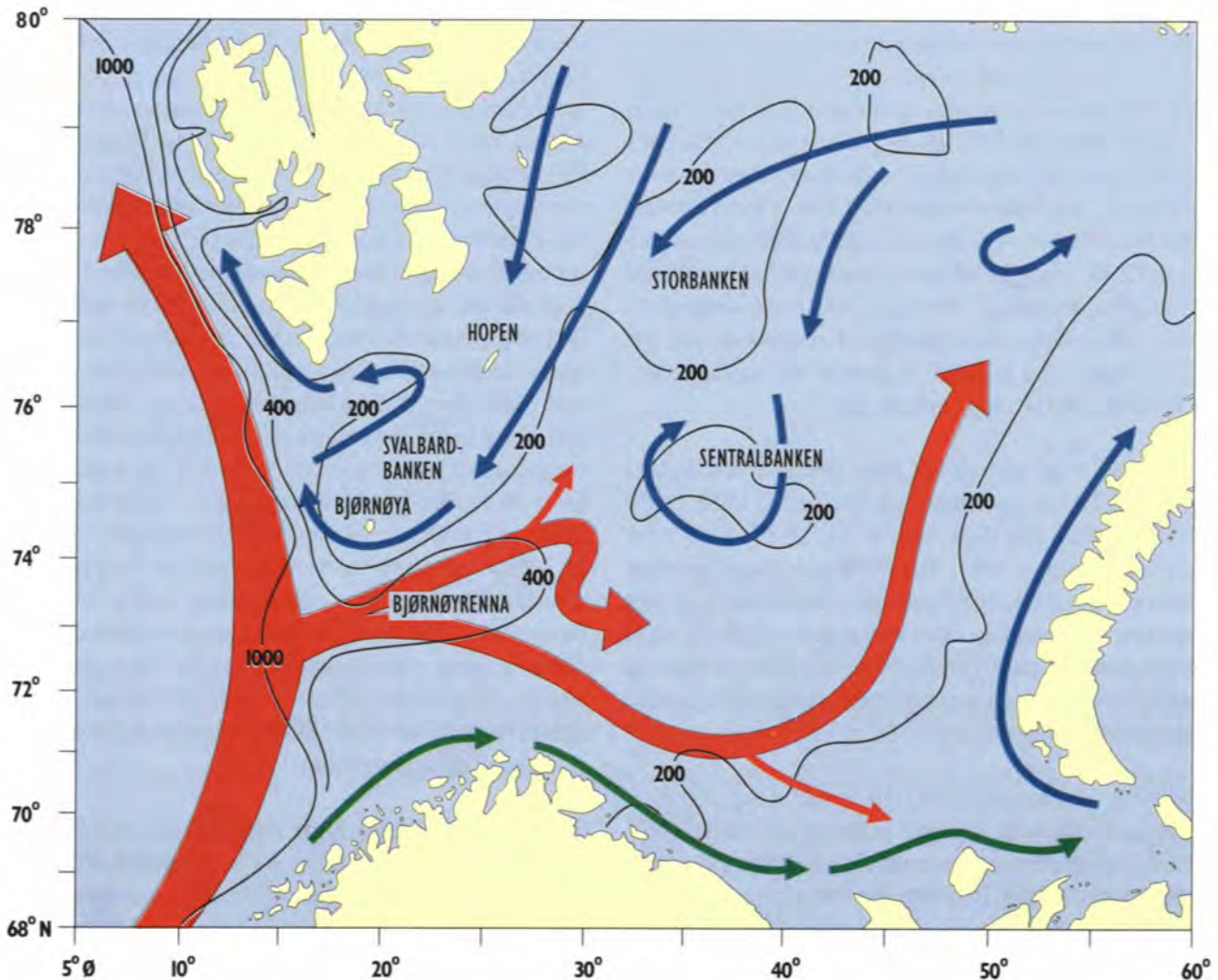
# I. ØKOSYSTEMET I BARENTSHAVET

## I.1 Havklima

Barentshavet er et sokkelhav på omtrent 1,4 millioner km<sup>2</sup> hvor størstedelen er grunnere enn 300 meter og det midlere dypet er 230 meter (figur 1.1). Bunntopografien har stor innflytelse på fordeling og bevegelse av vannmassene. Innstrømningen av Atlanterhavsvann til Barentshavet skjer med Nordkappstrømmen, som deler seg i en nordlig og en sørlig gren. Innstrømning av kaldt arktisk vann skjer fra nordøst mot sørvest (figur 1.1). Barentshavet er karakterisert ved

store variasjoner fra et år til et annet, både når det gjelder varmeinnhold og isforhold. Den viktigste årsaken til dette er endringer i mengden av Atlanterhavsvann som strømmer inn og temperaturen i dette vannet.

HI har ikke fått tillatelse til å ta observasjoner i russisk sone etter 1997, og av den grunn vet vi lite om temperaturutviklingen i den østligste delen av Barentshavet. Imidlertid har vi fått

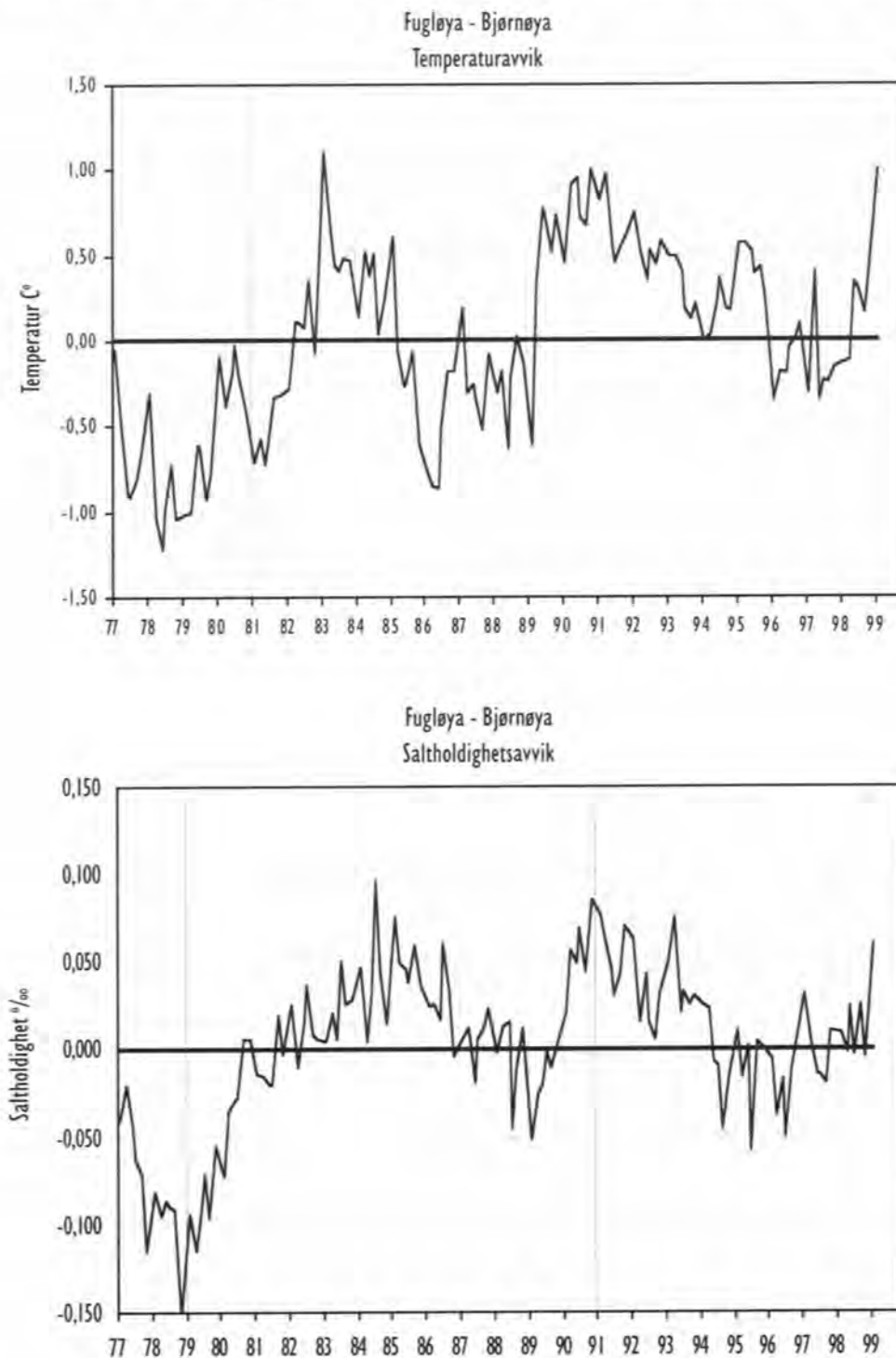


**Figur 1.1** De viktigste trekkene i sirkulasjonsmønsteret og dybdeforhold i Barentshavet.  
Røde piler: Atlantisk vann, blå piler: Arktisk vann, grønne piler: Kystvann.  
*The most conspicuous features of the circulation and bathymetry of the Barents Sea.*

oppdatert informasjon fra det russiske Kola-snittet (figur 0.1) fra havforskningsinstituttet i Murmansk (PINRO), som gir oss en indikasjon på temperaturutviklingen i den sørøstlige del av Barentshavet.

I perioden fra 1989 til 1995 var temperaturene i

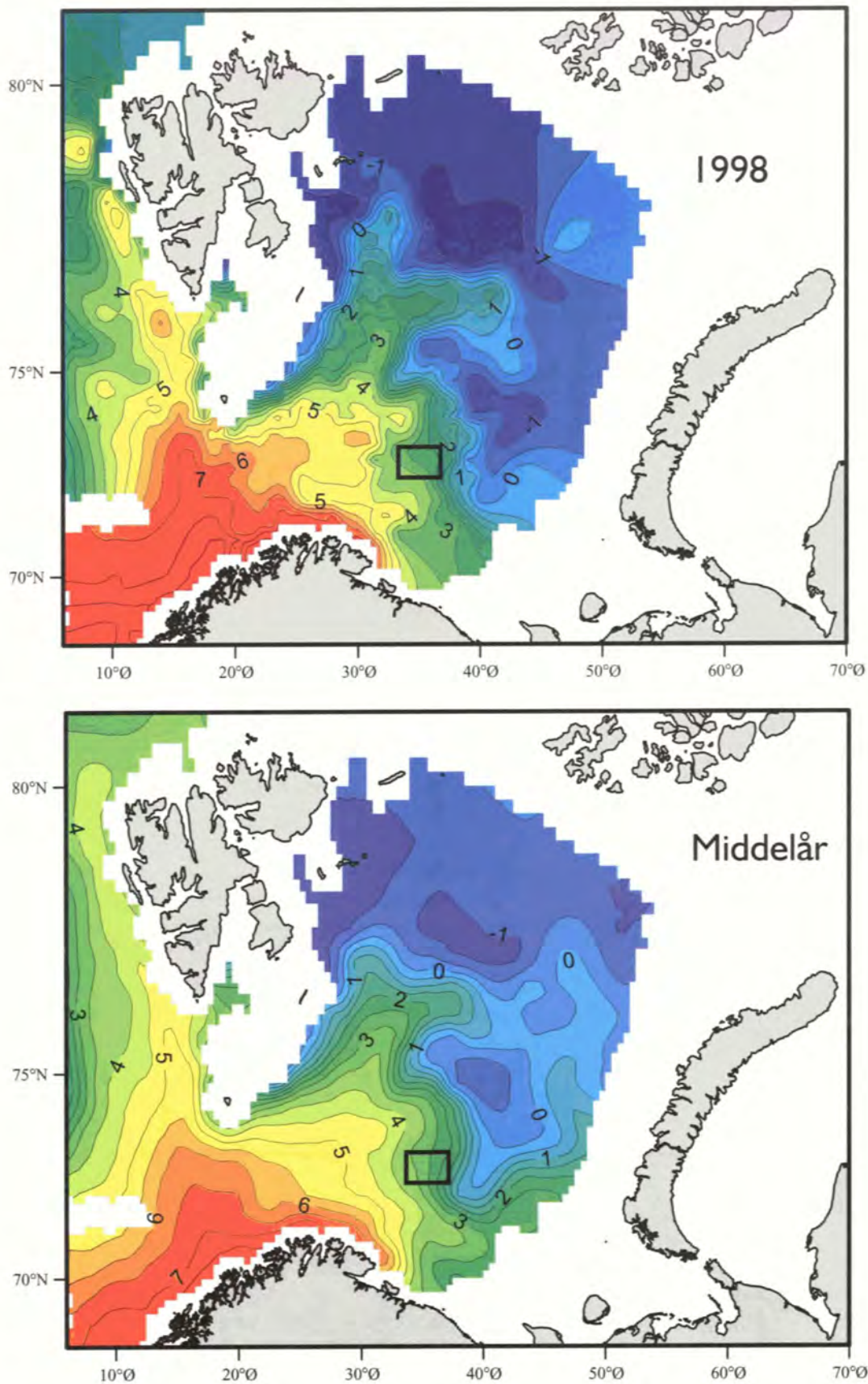
den vestlige del av Barentshavet høyere enn langtidsnormalen (figur 1.2). I slutten av 1995 avtok temperaturene i Barentshavet og lå stort sett under langtidsmiddelet fram til 1998. Utover vinteren og våren 1998 var det fremdeles litt kaldere enn normalt i snittet Fugløya - Bjørnøya. Fra april til oktober var det en gradvis



**Figur 1.2**

Temperatur og saltholdighetsavvik mellom 50 og 200 meters dyp i snittene Fugløya-Bjørnøya i perioden 1977-98.  
*Temperature and salinity anomalies between 50 and 200 m in the section Fugløya-Bjørnøya, 1977-98.*

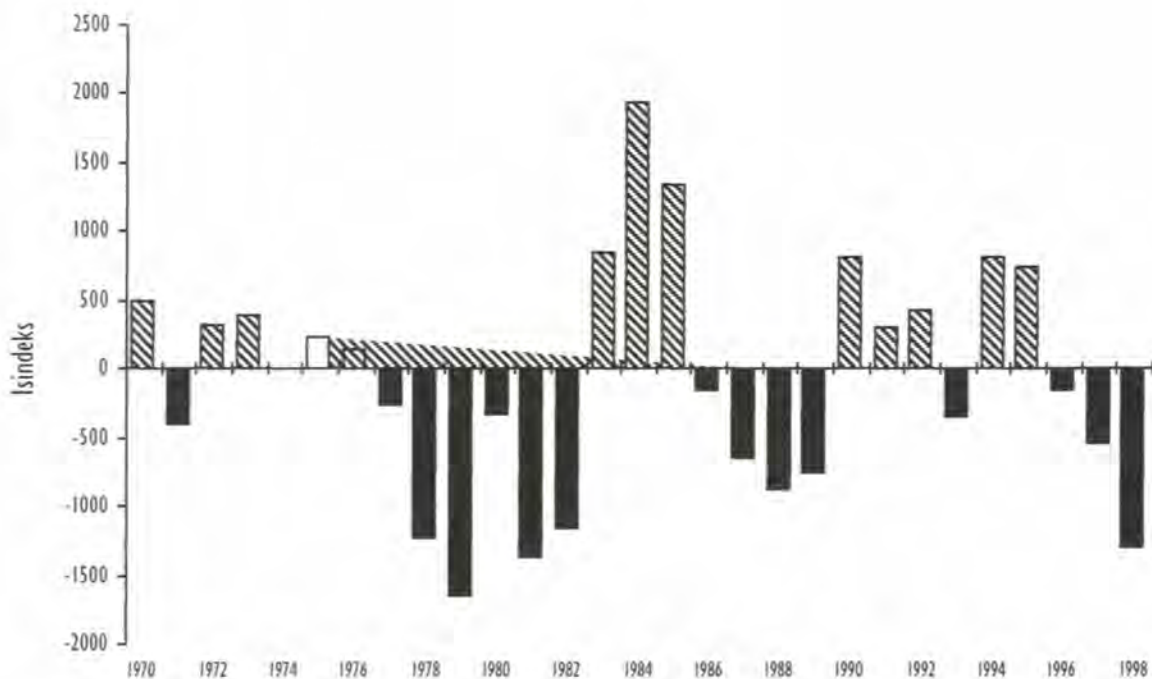




**Figur 1.3**

Temperaturfordelingen i Barentshavet i 100 meters dyp for august-september.  
 Øverst: 1998. Nederst: middelår. Den sørvestlige delen av Smutthullet er markert.  
*Distribution of temperature at 100 m depth during August-September.*  
*Upper: 1998. Lower: mean temperature. The southwestern part of the Loophole is marked.*





**Figur 1.4** Isindeks for Barentshavet i perioden 1970-1998. Positive verdier betyr lite is, negative verdier indikerer mye is.  
*Ice index for the period 1970-1998. Positive values indicate little ice, while negative values show more severe ice conditions.*

temperaturøkning, mens det fra oktober 1998 til januar 1999 var en betydelig temperaturøkning i snittet Fugløya - Bjørnøya. Temperaturen i januar 1999 lå ca 1°C over langtidsmidlet, og vi må tilbake til vinteren 1983 for å finne tilsvarende høye temperaturer. I sentrale og sørøstlige deler av Barentshavet har temperaturene ligget under langtidsmidlet i hele 1998. I de sentrale deler var det imidlertid også en temperaturøkning rundt årsskiftet 1998/1999, og i januar 1999 var temperaturen omlag en halv grad høyere enn langtidsmidlet. I sørøstlige deler av Barentshavet, mellom Vardø og Kola, lå temperaturene 0.2 - 0.3 °C under langtidsmidlet i hele 1998 (se figur 2.7 og figur 5.17 i temaartikkel bak i rapporten). Ser vi på saltholdigheten i snittet Fugløya-Bjørnøya (figur 1.2) lå den, på samme måte som temperaturen, like over langtidsmidlet fram til oktober 1998. Rundt årsskiftet var det også en markert økning i saltholdighetene samtidig med den store temperaturokningen. Temperatur- og saltholdighetsøkningen i snittet Fugløya - Bjørnøya tyder på økt innstrømning av varmt atlantisk vann til Barentshavet rundt årsskiftet 1998/1999.

Figur 1.3 viser temperaturfordelingen i 100 meters dyp i Barentshavet i august - september 1998 (øverst) og i et middelår (nederst). I 1998 var det i august - september kaldere i den østlige delen og varmere i den vestlige delen av Barentshavet sammenlignet med et normalår. På figurene har vi markert den sørvestlige delen av «Smutthullet», hvor størstedelen av det internasjonale fisket foregår i Barentshavet. I dette området vil en i varme år vanligvis finne fisk av alle størrelser hele året. I kalde år derimot kan dette området være fisketomt i perioder. Da vil fisken trekke lenger sør og vest. Årsaken til dette er at denne delen av Smutthullet ligger i et område med store øst-vestforskjeller i temperatur (polarfronten). Små øst-vest forflytninger av vannmassene kan derfor gi store temperaturendringer i Smutthullet. Disse vannmasseforflytningene ser vi tydeligst mellom varme og kalde år i Barentshavet, men de kan også inntruffe på kortere tidskalaer som uker. I 1998 var temperaturen i «Smutthullet» fortsatt lavere enn i et middelår. Temperaturfordelingen i Barentshavet i 1998 var dermed slik at selv små øst-vestsvingninger førte til innstrømning av kaldt

vann i den sørlige del av "Smuthullet", slik at fisken periodevis trakk ut av området.

I 1998 var det betydelig mer is i løpet av vinteren enn året før. Isgrensene lå store deler av vinteren sør for 74°N, og i enkelte områder også sør for 73°N. Vi må tilbake til den kalde perioden som sluttet i 1981 for å finne tilsvarende store ismengder. I løpet av sommeren 1998 var ismeltingen i Barentshavet liten, og derfor må året som helhet karakteriseres som svært rikt på is (figur 1.4). Det er ingen sammenheng mellom ismengden om vinteren og sommeren fordi det er forskjellige prosesser som styrer disse forholdene. Om vinteren er det temperaturen og transportforholdene i havet (eller mer korrekt, utbredelsen av Atlanterhavsvann) som bestemmer hvor langt sør og vest isen kommer, mens det er atmosfæriske forhold, som lufttemperatur og vind, som bestemmer hvor stor avsmeltingen blir i løpet av sommeren. Temperaturforholdene i Barentshavet er hovedsakelig bestemt av tilført varmemengde fra innstrømmende Atlanterhavsvann. Langs hele norskekysten og i Norskehavet har det vært observert høye temperaturer i løpet av høsten

1998. Disse høye temperaturene er nå observert i de vestlige deler av Barentshavet og er i ferd med å trenge østover, slik observasjonene fra sentrale deler av Barentshavet antyder. Isforholdene ved årsskiftet 1998/99 gjenspeiler endringene i temperaturen. I vest ligger isen lengre nord enn vanlig, men det i de østlige deler av Barentshavet er noe mer is enn normalt.

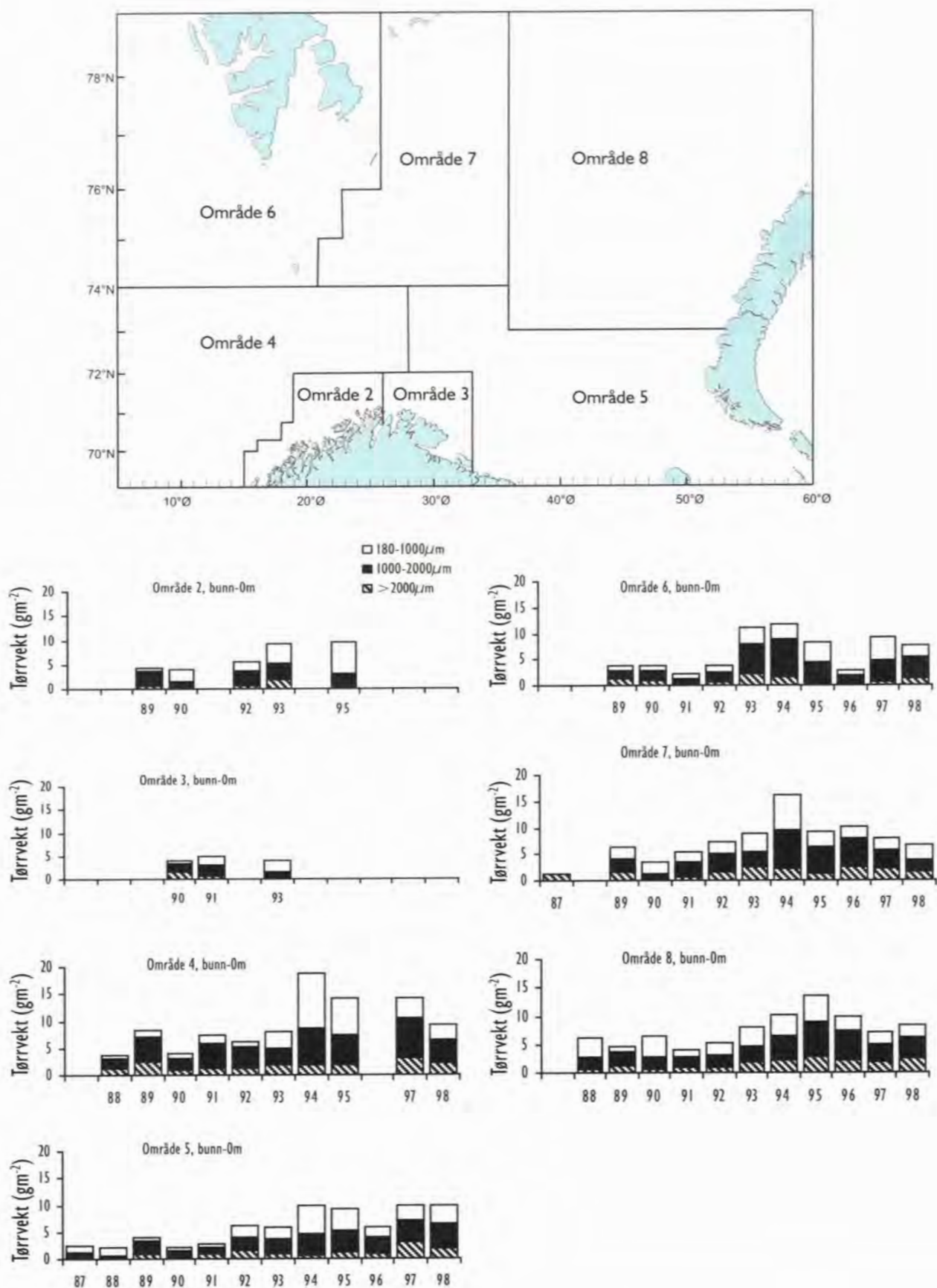
Analyser av lange tidsserier av temperaturforholdene i Barentshavet viser klare periodiske svinginger med perioder fra to til omkring tjuen år. Disse periodiske endringer synes å være det viktigste bidraget til de temperaturvariasjonene vi observerer. Under forutsetning av at denne tilsynelatende sammenheng fortsetter, kan vi bruke statistiske metoder for å beregne de fremtidige temperaturfluktasjoner i Barentshavet (se egen artikkel bak i rapporten). Beregningene indikerer at temperaturen i Barentshavet vil holde seg omkring langtidsmidelet to-tre år fremover. Imidlertid gir de siste observasjonene antydninger om at det blir relativt høye temperaturer i vestlige deler av Barentshavet, i alle fall i første halvår, mens temperaturen i øst trolig vil stige til over langtidsmidlet i løpet av første halvår 1999.

## 1.2 Plankton

Siden 1986 har fordeling og sammensetning av dyreplankton vært undersøkt i august - september. September er vanligvis den perioden av året hvor isutbredelsen i Barentshavet er minst, slik at størst mulig område kan kartlegges. På denne årstiden har også primærproduksjonen og beitepresset fra planktonspisende fisk har avtatt, og dyreplanktonets biomasse er en god indikator på størrelsen av overvintringsbestanden. Raudåta utgjør den største andelen av dyreplanktonet og er det viktigste byttedyret for pelagiske fisk som sild og lodde. I september har mesteparten av raudåta vandret ned på dypere vann for å overvintrere.

Barentshavet som økosystem er i stor grad avhengig av innstrømning av atlantisk vann med plankton fra Norskehavet. Særlig viktig er tilførsler av krill og raudåte. Om vinteren står raudåta i Norskehavet stort sett under terskeldypet til Barentshavet, og det innstrømmende vannet vil vanligvis bringe lite raudåte til Barentshavet på denne årstiden. Innstrømningsintensiteten og tidspunktet for innstrømning er derfor viktig for mengden av transportert plankton når dette vandrer opp til de øvre lag etter overvintring på dypt vann.

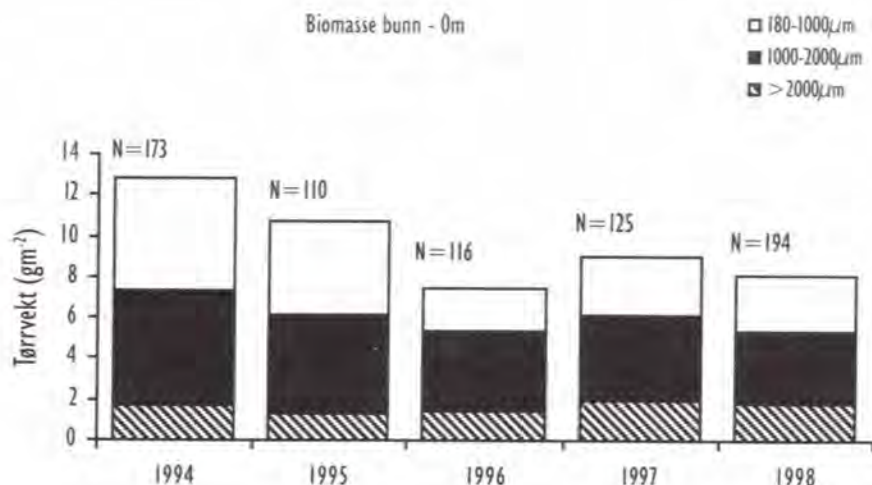
Tidsserien fra 1987-1998 (figur 1.5 a) viser



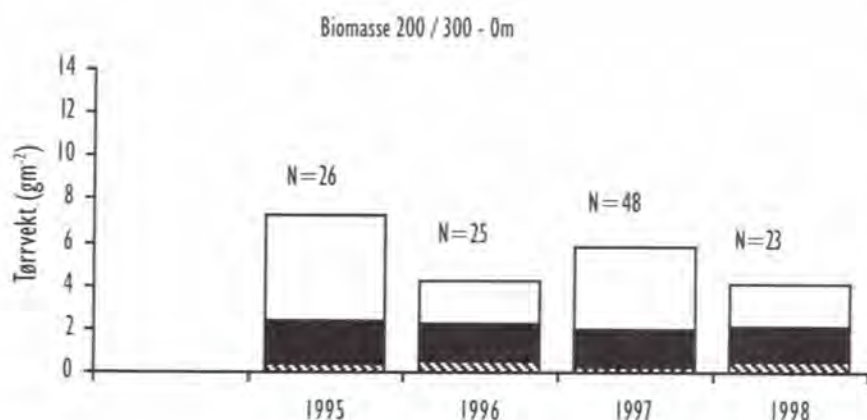
**Figur 1.5 a)**

Middelverdier av størrelsesfraksjonert biomasse av dyreplankton, g m<sup>-2</sup> (askefri tørrvekt 1987-90 og tørrvekt 1991-98) fra bunn - 0 m i flerbestandsområdene 2-8. Askefri tørrvekt tilsvarer ca 80 % av tørrvekt. Mean values of size separated zooplankton biomass, g m<sup>-2</sup> (ash free dry weight 1987-90, dry weight 1991-98, from bottom - 0 m in the «multispecies» regions 2-8. Ash free dry weight is about 80 % of dry weight.





**Figur 1.5 b)**  
Biomasse av dyreplankton, middelverdier for hele Barentshavet, fra 1994-98. Zooplankton biomass, mean values for the whole Barents Sea, from 1994-98.



**Figur 1.5 c)**  
Biomasse av dyreplankton i 200 (300) - 0 m over dype områder, middelverdier for de vestlige deler av områdene 2, 4 og 6, fra 1995-98. Zooplankton biomass from 200 (300) - 0 m at deep stations in the western parts of regions 2, 4 and 6. Mean values for 1995-98.

biomassen av dyreplankton fra forskjellige områder av Barentshavet. Data er basert på hal med en 56 cm diameter WP2-håv fra bunn til overflaten. Planktonet blir sortert etter størrelse før prøvene blir tørket og veiet. Om høsten inneholder prøvene for det meste overvintrende raudåte (*Calanus finmarchicus*) og ishavsåte (*C. glacialis*), for det meste i størrelsesgruppen 1000-2000 μm). Krill, amphipoder og pilormer er vesentlige bestanddeler i den største størrelsesgruppen >2000 μm, mens småkopepoder og yngre stadier av *Calanus* dominerer i 180-1000 μm-fraksjonen. Data var delvis mangelfulle de første årene av serien, og ikke alle områdene ble dekket med tilstrekkelig antall hal (resultater med N<10 utelatt). Områdene 2 og 3 har den svakest dekningen, og resultatene derfra må derfor tolkes med forsiktighet. De siste årene har totalt antall stasjoner i Barentshavet ligget på 100 - 200.

Fra 1991-94 var det en tydelig tendens til en økende biomasse i alle deler av Barentshavet,

og for område 8 fortsatte økningen videre til 1995. De senere årene har biomassen stort sett gått ned, men i de østlige delene (område 5 og 8) har det vært små endringer eller kanskje en liten økning fra 1997 til 1998. Tar en hele området under ett, var det i 1994 en gjennomsnittlig biomasse på 12.8 g m<sup>-2</sup>. I 1995 sank den til 10.7 og i 1996 til 7.4 g m<sup>-2</sup>. I 1997 økte verdien igjen til 9.1 g m<sup>-2</sup> og falt deretter til 8.1 g m<sup>-2</sup> i 1998 (figur 1.5 b). I 1997 ble det ikke gitt adgang til russisk sone i øst, slik at dekningen ble mangelfull helt i øst.

Fra 1995-1998 ble dekningen utvidet til vest av Svalbard og Bjørnøya over de dype områdene av Norskehavet (områdene 2, 4 og 6). Her ble håvtrekkene tatt fra 200 eller 300 meter til overflaten, og resultatene er vist i figur 1.5 c. Årsvariasjonene viser samme tendenser som for resten av Barentshavet, men biomassen for de største organismene var betydelig lavere fordi en stor del av planktonet hadde vandret ned på dypt vann i Norskehavet.

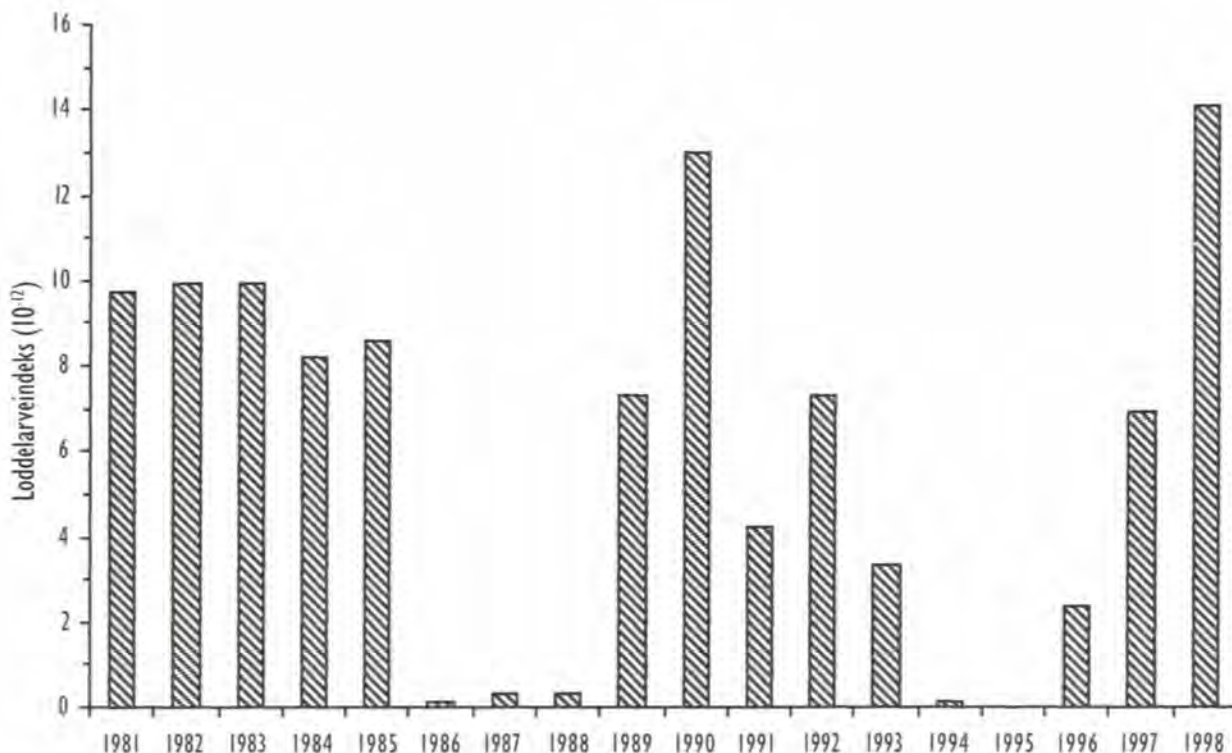
## I.3 Yngelproduksjon

### Lodde

Det ble samlet inn loddelarver på et tokt med F/F "M. Sars" i norsk sone i Barentshavet i perioden 17. - 29. juni 1998. Båtens adgang til russisk sone var sterkt redusert, så et fullstendig undersøkelsesprogram lot seg ikke gjennomføre. Det som ble funnet av loddelarver må derfor ses på som et minimumsestimert. Det ble registrert loddelarver i store deler av undersøkelsesområdet. Høye tettheter ble funnet fra Magerøya og østover til Vardø med maksimumsverdier på over 1000 per m<sup>2</sup> overflate. Høye tettheter av loddelarver ble funnet helt nord til 72<sup>0</sup> N. Fordelingen minner om den som ble obser-

vert i perioden 1989-1993. Larveindeksen ble beregnet til  $14.08 \times 10^{12}$  (figur 1.6), den høyeste som er registrert siden loddelarve-undersøkelsen startet tidlig på 1980-tallet.

Under 0-gruppetoktet høsten 1998 ble det påvist mindre loddeyngel i Barentshavet enn i 1997. 1998-årsklassen av lodde synes dermed å være middels tallrik. Mye av de store larvemengdene som ble observert i juni synes å være beitet ned i løpet av sommermånedene. På tross av dette er det tegn som tyder på at det er god vekst i loddebestanden i Barentshavet.



**Figur 1.6** Loddelarveindeksen for perioden 1981 til 1998.  
*The index of capelin larvae during the period 1981 to 1998.*



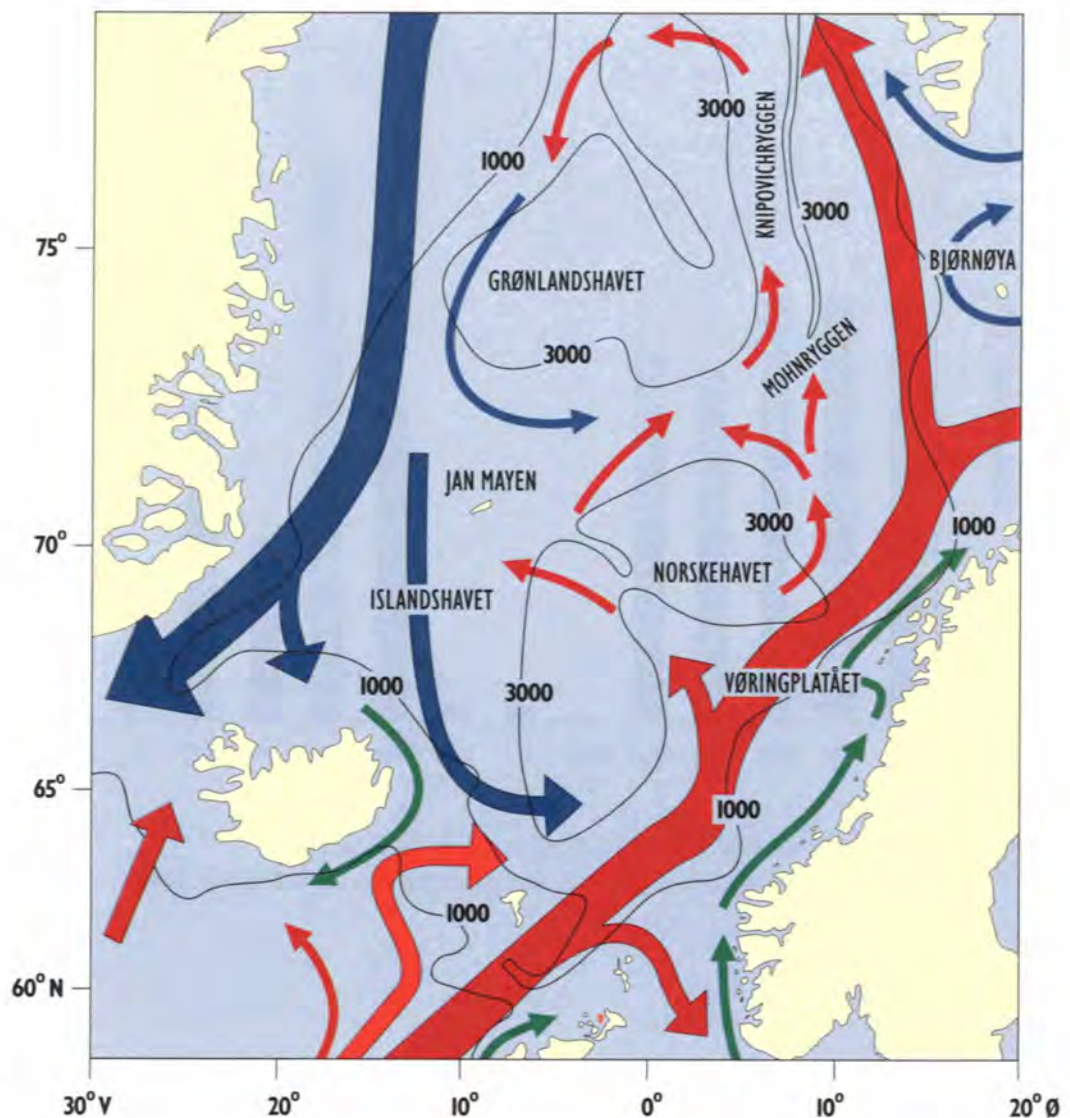
## 2. ØKOSYSTEMET I NORSKEHAVET OG LANGS KYSTEN

### 2.1 Havklima

Det varmeste og salteste vannet som kommer inn i Norskehavet fra Atlanterhavet, går hovedsakelig gjennom Færøy-Shetlandskanalen der det følger eggakanten nord av Skottland (figur 2.1). En annen strømgren som også fører Atlanterhavsvann, kommer inn nord av Færøyene etter å ha krysset Grønland-Skottlandsryggen mellom Færøyene og Island. Lengre vest er det innstrømming av Atlanterhavsvann til nord-islandske farvann i en strømgren som går nordover langs vestkysten og øst langs nordkysten av Island. Atlanterhavsvannet som strømmer inn i Norskehavet, transporterer meget store varme-

mengder inn i området. Ved siden av at det sørger for å holde hele Norskehavet og store deler av Barentshavet isfritt og åpent for biologisk produksjon, blir det også avgitt store varmemengder til atmosfæren slik at det nordvestlige Europa har et meget mildt klima i forhold til sin geografiske bredde.

Variasjoner i denne atlantiske transporten og de temperatursvingningene som disse fører til, er en viktig økologisk faktor som virker inn på de biologiske forholdene i havet. Tilstanden i fiskebestandene er som regel best når tempera-



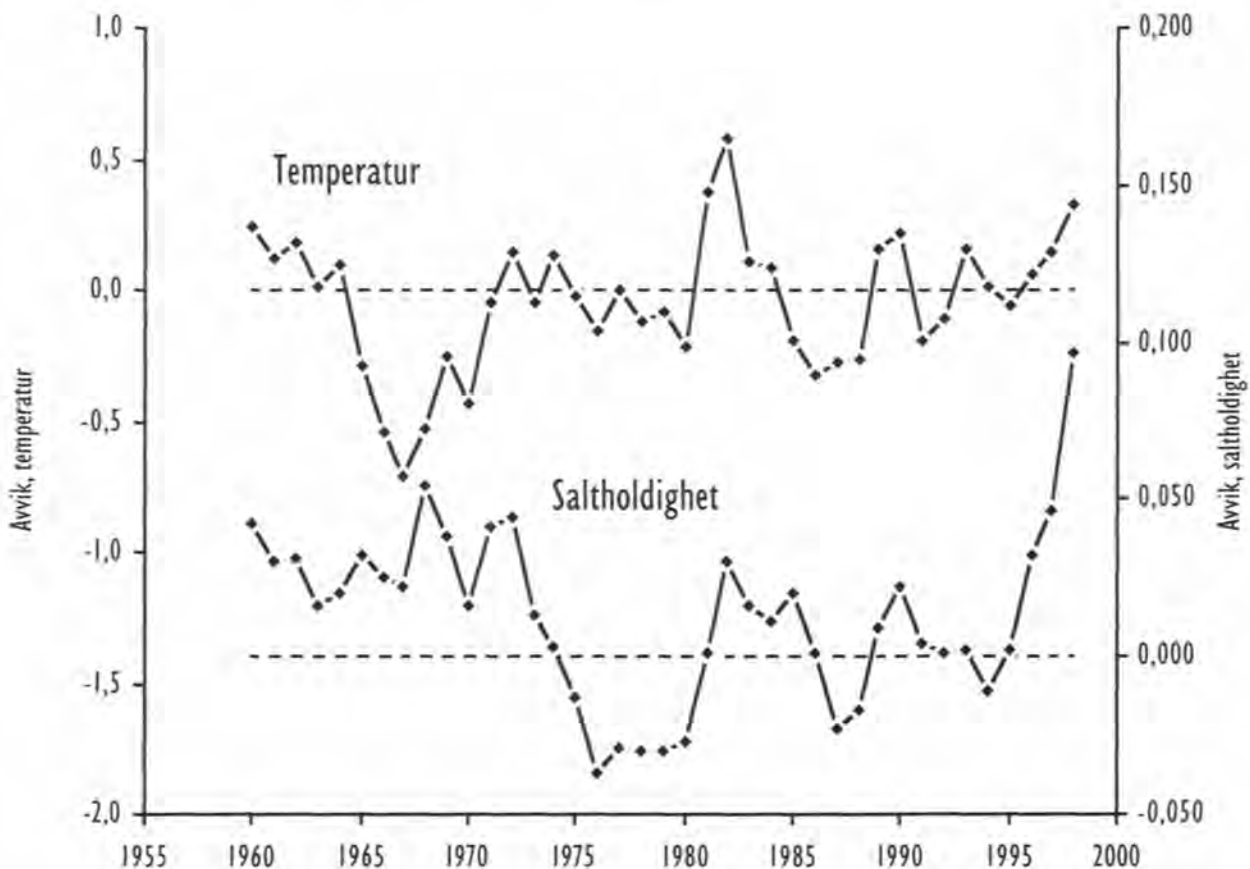
**Figur 2.1**  
De viktigste trekkene i sirkulasjonsmønsteret og dybdeforhold i Norskehavet.  
Røde piler: Atlantisk vann.  
Blå piler: Arktisk vann.  
Grønne piler: Kystvann.

*The most conspicuous features of the circulation and bathymetry of the Barents Sea.*

turen er høy, idet store årsklasser som regel rekrutteres i varme perioder. Temperaturvariasjonene som vi måler, behøver ikke nødvendigvis å være et mål for varmemengden som kommer inn i Norskehavet fordi denne også avhenger av volumtransporten. Variasjoner i volumtransporten har vi langt mindre kjennskap til enn temperaturvariasjonene. Grunnen til dette er at transportmålinger er meget kostbare å gjennomføre.

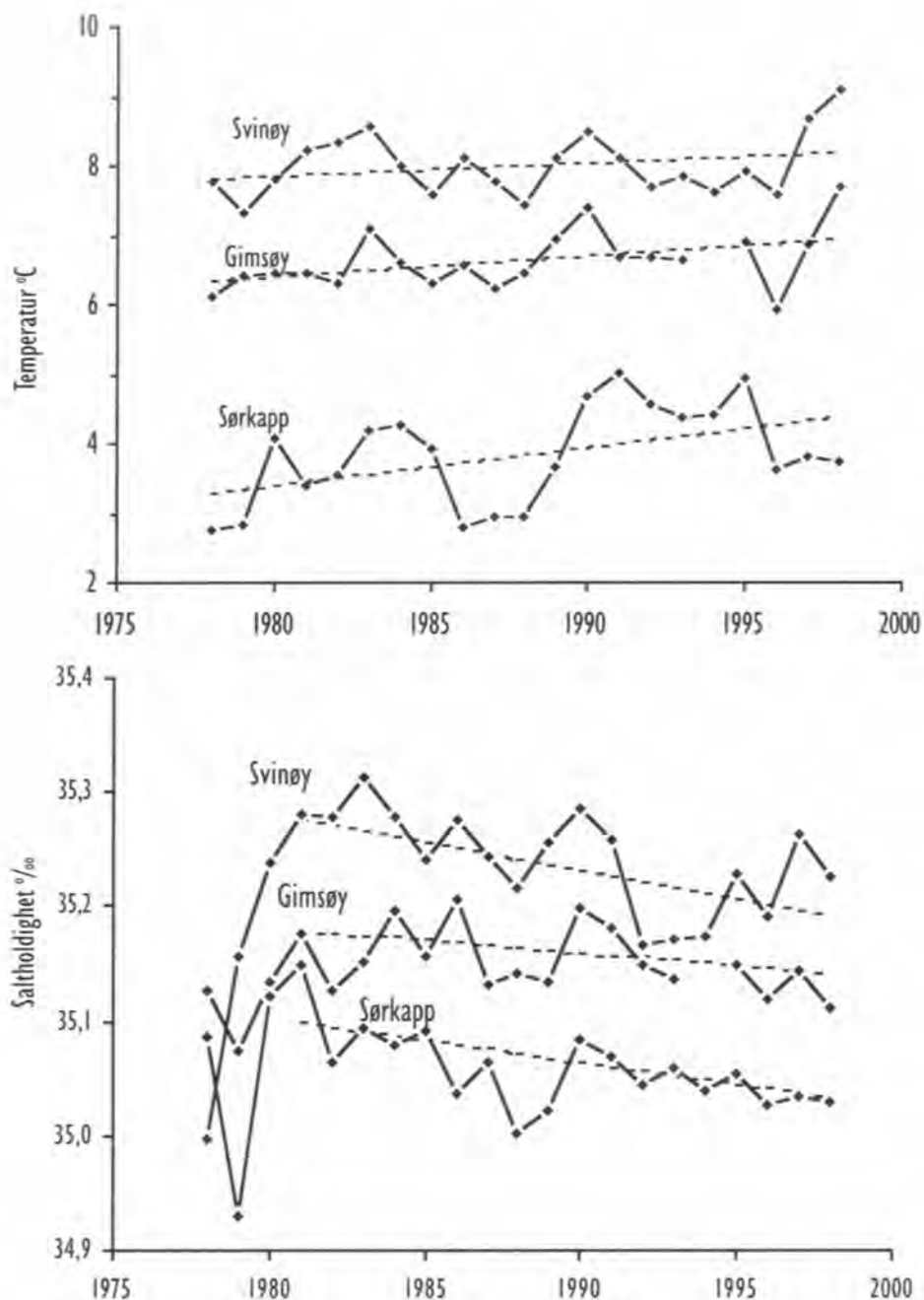
Atlantehavsvannet på den skotske siden av Færøy-Shetlandskanalen (figur 2.1) kommer i hovedsak inn i området sør av Færøybanken, spesielt langs kontinentalskråningen vest av De britiske øyer. Temperaturen og saltholdigheten i dette vannet har vært målt siden 1902 (figur 2.2). Disse målingene viser at de vanligste varia-

sjonene har tidsskala på noen få år. Disse variasjonene har vanligvis også de største utslagene. Måleserien viser også variasjoner over flere tiår. Slik er vannet som strømmer inn fra Atlanterhavet i gjennomsnitt blitt ca 0.3°C varmere siden midten av 1960-årene, selv om de kortere svingningene har vært mer dominerende, med variasjoner på nesten en grad. Saltholdigheten var i 1976 den laveste siden begynnelsen av 1900-tallet. Siden da har den i gjennomsnitt vært stigende, selv om det er observert svingninger med maksima i 1982 og 1990, og minima i 1987 og 1994. Siden 1994 har den steget bemerkelsesverdig, spesielt fra 1997 til 1998, slik at saltholdigheten nå er den høyeste observerte i hele måleserien som startet i begynnelsen av 1900-tallet.



**Figur 2.2** Tidsserier av temperatur og saltholdighet i Atlanterhavsvann over eggkanten nord av Skottland. Verdiene er vist som avvik fra normalen. Kurven viser 24 måneders glidende midler, beregnet for 6-månedersintervaller. Gjengitt med tillatelse fra Marine Laboratory, Aberdeen.

*Time series of temperature and salinity anomalies in surface waters lying at the shelf edge north of Scotland. The curves are the result of a 24 month centered running mean, calculated at 6 monthly intervals. Courtesy of the Marine Laboratory, Aberdeen.*



**Figur 2.3** Temperatur og saltholdighet, observert i juli/august, i kjernene av atlantisk vann i snittene Svinøy-NV, Gimsøy-NV og Sørkapp-V, midlet mellom 50 og 200 meters dyp (lokaliseringen av snittene er vist i Figur 0.1)  
*Temperature and salinity, observed in July/August, in the core of Atlantic water in the sections Svinøy-NW, Gimsøy-NW and Sørkapp-W, averaged between 50 and 200 m depth (Positions of the sections are indicated in Fig. 0.1).*

Figur 2.3 viser variasjonen siden 1978 i temperatur og saltholdighet i snittene Svinøy-NV, Gimsøy-NV og Sørkapp-V (Figur 0.1). Disse snittene representerer forholdene i henholdsvis sørlige, sentrale og nordlige deler av Norskehavet. Verdiene i figuren er midlet mellom 50 og 200 meters dyp i kjernen av Atlanterhavsvannet like utenfor eggakanten. De er basert på målinger som er tatt i perioden fra slutten av juli til

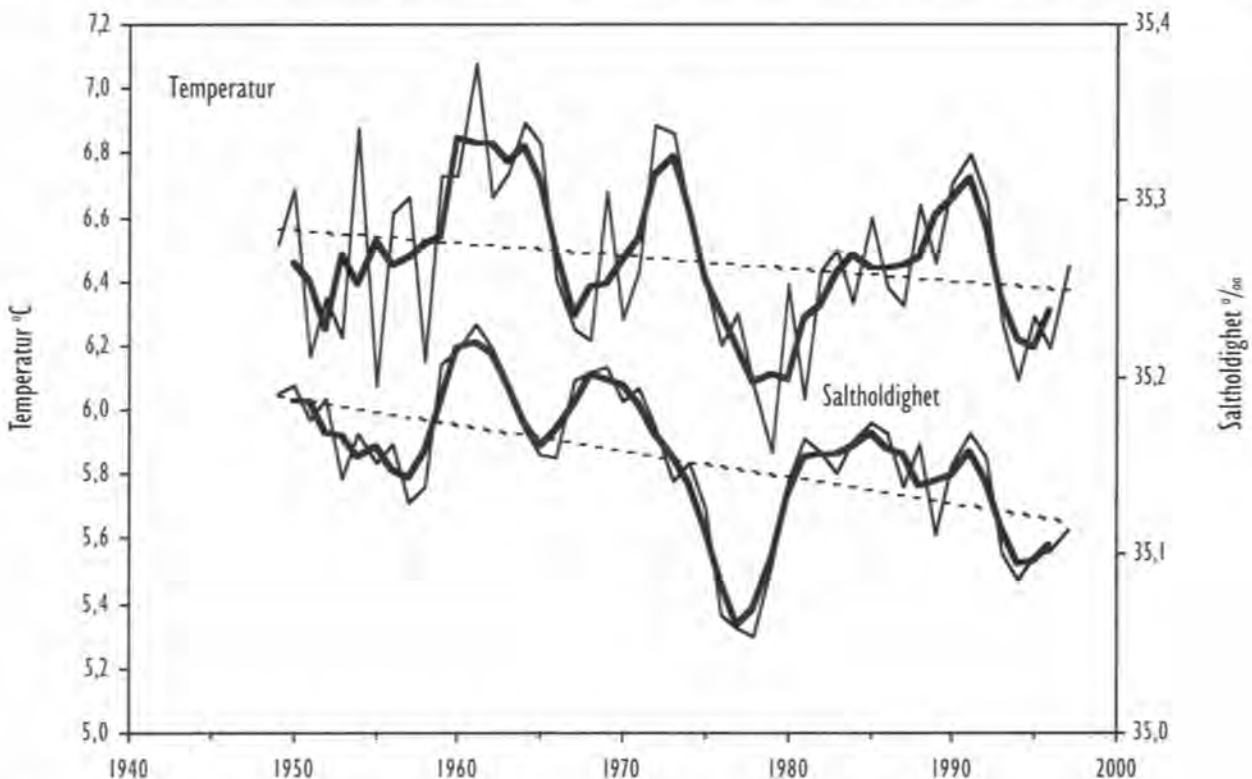
begynnelsen av september og viser derfor sommersituasjonen. Noen trekk i forholdene nord av Skottland (figur 2.2) forekommer også i snittene, som for eksempel de lave saltholdighetsverdiene i slutten av 1970-årene og perioden med høye verdier i temperatur og saltholdighet rundt 1990. Figuren viser også at siden 1989 har det lokalt vært en varm periode i det nordlige Norskehavet, men denne perioden tok slutt



med den kraftige avkjølingen som er vist i Sørkappsnittet, fra 1995 til 1996. I de to sørligste snittene har temperaturen steget betydelig siden 1996, slik at snittene fra 1998 viste den høyeste temperaturen siden målingene startet i 1978. Temperaturøkningen er ennå ikke observert i de nordligste områdene i Norskehavet, der temperaturen i Sørkappsnittet gjennom de tre siste årene har ligget nær gjennomsnittsverdiene for måleperioden. På en lengre tidsskala viser temperaturen i alle tre snittene en stigende trend, i likhet med tendensen som er observert ved innløpet i Færøy-Shetlandskanalen. Dette viser at temperaturøkningen i de tre snittene har sammenheng med økende temperatur i vannet som kommer inn fra Atlanterhavet. Figur 2.3 viser imidlertid også at langtidstendensen mot høyere temperatur er større nord i Norskehavet enn i sør.

I det innstrømmende vannet i Færøy-Shetlandskanalen, har saltholdigheten vist økende tendens gjennom perioden etter ca 1980, og spesielt etter 1994 (figur 2.2). Mønsteret brytes i Norske-

havet, der alle tre snittene har vist en tendens mot lavere saltholdigheter siden 1981. Denne trenden, som er minst i Gimsøysnittet og størst i Svinøysnittet, kan dermed ikke stå i forbindelse med egenskapene i vannet som kommer inn fra Atlanterhavet, men skyldes påvirkning av arktisk vann fra vest. Derfor er den tydeligst i Svinøysnittet, som ligger nærmest Øst-Islandsstrømmen og minst i Gimsøysnittet, som ligger i området der Atlanterhavsvannet har sin største utbredelse mot vest. Videre mot nord er det igjen økende innblanding av arktisk vann fra vest, slik at Sørkappsnittet viser nesten like stor langtidstrend som Svinøysnittet. Delvis skyldes dette vann fra Jan Mayen-strømmen, men delvis også vinddrevet overflatevann som har ført til større stabilitet i de øvre deler av vannsøylen. I overensstemmelse med dette var det i Sørkappsnittet en økning i tetthetsforskjell mellom 10 og 100 meter dyp på nesten  $0.1 \text{ kg/m}^3$  fra 1978 til 1998. Den økte stabiliteten i vannmassene reduserer varmetapet til atmosfæren vinterstid og kan være med å forklare at langtidstendensen



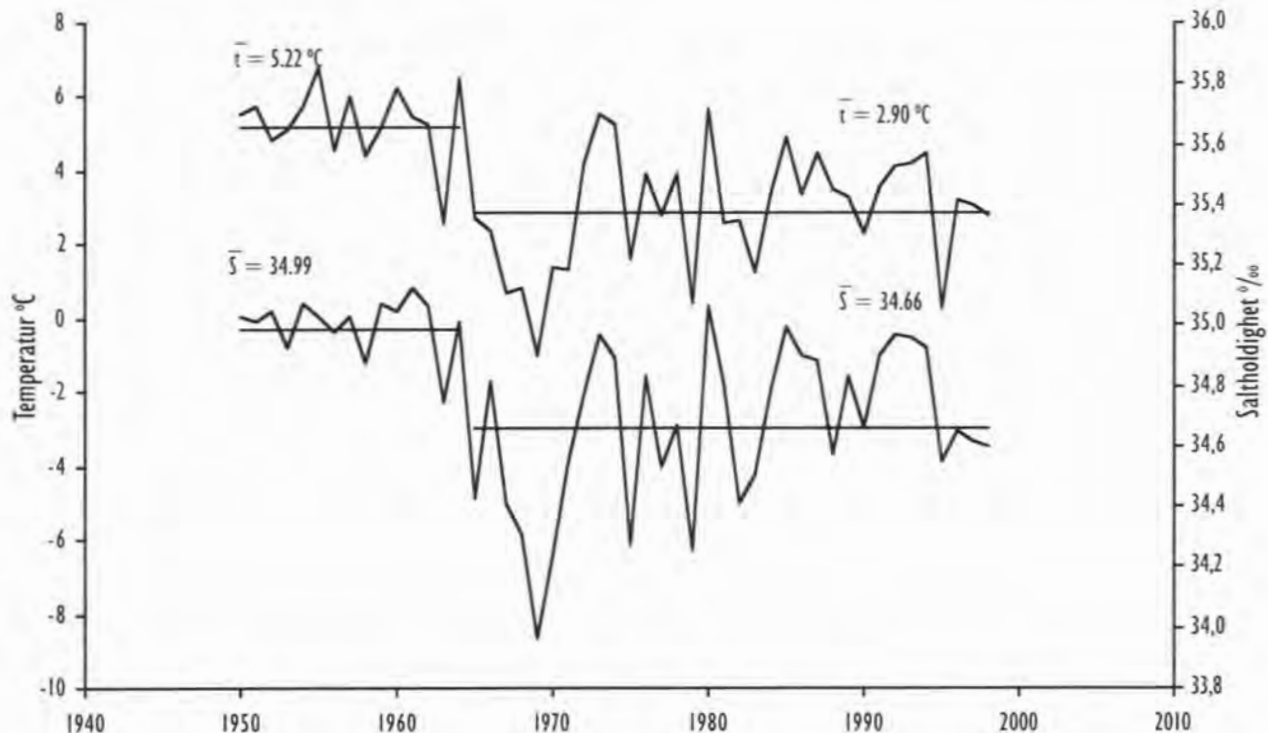
**Figur 2.4** Tidsserier av årlige middelværdier, med 3-års glidende midler, for temperatur og saltholdighet i 150 meters dyp på Værskipsstasjon "M" i Norskehavet, i posisjon 66°N, 02°Ø (figur 0.1). Gjengitt med tillatelse fra Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen. *Time series of annual mean values, with 3-year running means, of temperature and salinity at 150 m depth at Ocean Weather Station "M" in the Norwegian Sea, in position 66°N, 02°E (fig. 0.1). Courtesy of the Geophysical Institute, University of Bergen.*

mot høyere temperatur er større nord i Norskehavet enn i sør.

Forskjellig fra standardsnittene, viser tidsserier i sentrale og vestligere deler av Norskehavet en langtidstrend ikke bare mot lavere saltholdighet, men også mot lavere temperatur. På Værskipsstasjon "M" (figur 0.1) har det således vært en generell nedgang i både temperatur og saltholdighet siden stasjonen ble opprettet i 1948. Dette fremgår i figur 2.4, som viser tidsseriene av temperatur og saltholdighet i 150 meters dyp, nær dypet for maksimum saltholdighet i laget av atlantisk vann. Grunnen til dette er at Værskipsstasjon "M" ligger så langt vest at den har betraktelig større tilblending av arktisk vann enn hovedgrenen i Den norske atlantehavsstrømmen som følger eggkanten langs norskekysten. Figuren viser også at selv om langtidstrenden er liten i forhold til svingningene av kortere tidsskala, har den likevel betydning på lang sikt. Derfor hadde den siste kalde perioden, som kulminerte i 1994, den nest laveste temperatur som er målt siden 1948 (figur. 2.4). På 400 m

dyp, hvor det arktiske vannet er mer dominerende, var saltholdigheten i 1994 den laveste observerte siden stasjonen ble opprettet i 1948. Lignende forhold er også påvist i de vestlige delene av russiske snitt i Norskehavet og i den nordvestlige delen av Svinøysnittet. Etter 1995 har det ved vært en økning både i temperatur og saltholdighet som indikerer en økende vestlig utbredelse av Atlantisk vann i sørlige del av Norskehavet.

Tidsseriene i Norskehavet står noe i kontrast til observasjoner ved Nord-Island. Som det fremgår av figur 2.5, var det nord av Island en markant forandring mot kaldere forhold med lavere saltholdighet, altså mot mer arktiske forhold, gjennom siste halvdel av 1960-årene. Siden da har gjennomsnittet for både temperatur og saltholdighet ligget lavere enn før 1965, og forholdene har vært mye mer variable. Gjennom en periode i 1994-1995 var «påtrykket» av arktisk vann så stort at det blokkerte for innstrømningen av Atlanterhavsvann langs vestkysten av Island til det nord-islandske kystområdet.



**Figur 2.5** Variasjoner i temperatur og saltholdighet i 50 meters dyp nord av Siglunes, Nord-Island, i mai juni 1952 - 1998. Presentert med tillatelse fra Havforskningsinstituttet i Reykjavik. *Temperature and salinity variations at 50 m depth off Siglunes, northern Iceland, in May/June 1952-1998. Courtesy of the Marine Research Institute, Reykjavik.*



En oppvarming med større innslag av Atlanterhavsvann gjennom de fem foregående årene ble dermed avbrutt (figur 2.5). Selv om mengden av atlantisk vann har økt noe igjen gjennom de to siste årene, er området fremdeles dominert av arktisk vann.

I sum viser dette at forholdene ved Nord-Island har hatt et arktisk preg med forholdsvis lave temperaturer siden slutten av 1960-årene. Denne situasjonen synes ikke å ville forandre seg i nær fremtid. Dette arktiske vannet strømmer inn i Norskehavet, slik at også dette området er blitt kaldere og ferskere, spesielt i sørvest der Øst-Islandsstrømmen kommer inn i Norskehavet.

Hele denne forandringen styres av den storstilte fordelingen av atmosfæretrykk i den nordatlantiske sektoren og de tilsvarende vindforholdene. En indeks for variasjon i trykkforskjellen mellom Portugal (eller Azorene) og Island er mye benyttet som et mål for intensiteten i vindsystemet over det nordlige Atlanterhavet, inkludert Norskehavet. Denne trykkvariasjonen som er kjent som NAO (North Atlantic oscillation) står i nær sammenheng med vindforholdene i Norskehavet og med utbredelsen av de ulike vannmassene. Dersom trykkforskjellen er stor (mye vestavind), blir påtrykket av arktiske vannmasser fra vest også stort (se artikkelen «Klima-variasjoner i Norskehavet gjennom de siste tiårene» bak i rapporten). Forandringen mot mer arktiske og tilsvarende kaldere forhold i vestlige og sentrale deler av Norskehavet siden slutten av 1960-årene, står således i forbindelse med at NAO, og dermed vindintensiteten, har økt. I dette systemet er det forholdene om vinteren som har størst betydning. Dette kan skape merkbare oseanografiske endringer fra et år til det neste. For eksempel var kondisjonen til silda mye dårligere etter beitesesongen i 1997 enn i 1998. Det synes klart at dette hadde sammenheng med forandringer i de oseanografiske forholdene mellom disse to årene, med dårligere betingelser for planktonproduksjon i 1997 enn i 1998. Det synes også klart at sildebestanden ikke vil beite i området nord av Island så lenge forholdene er som nå.

## Kysten

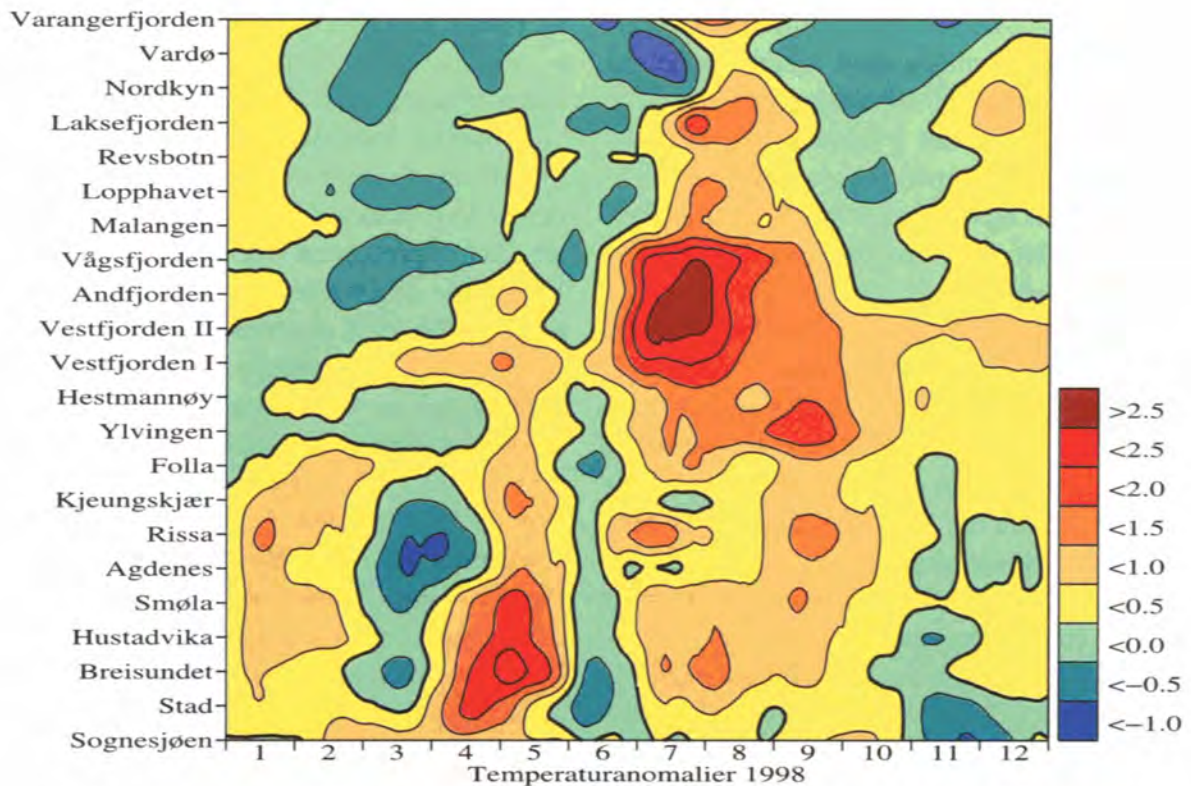
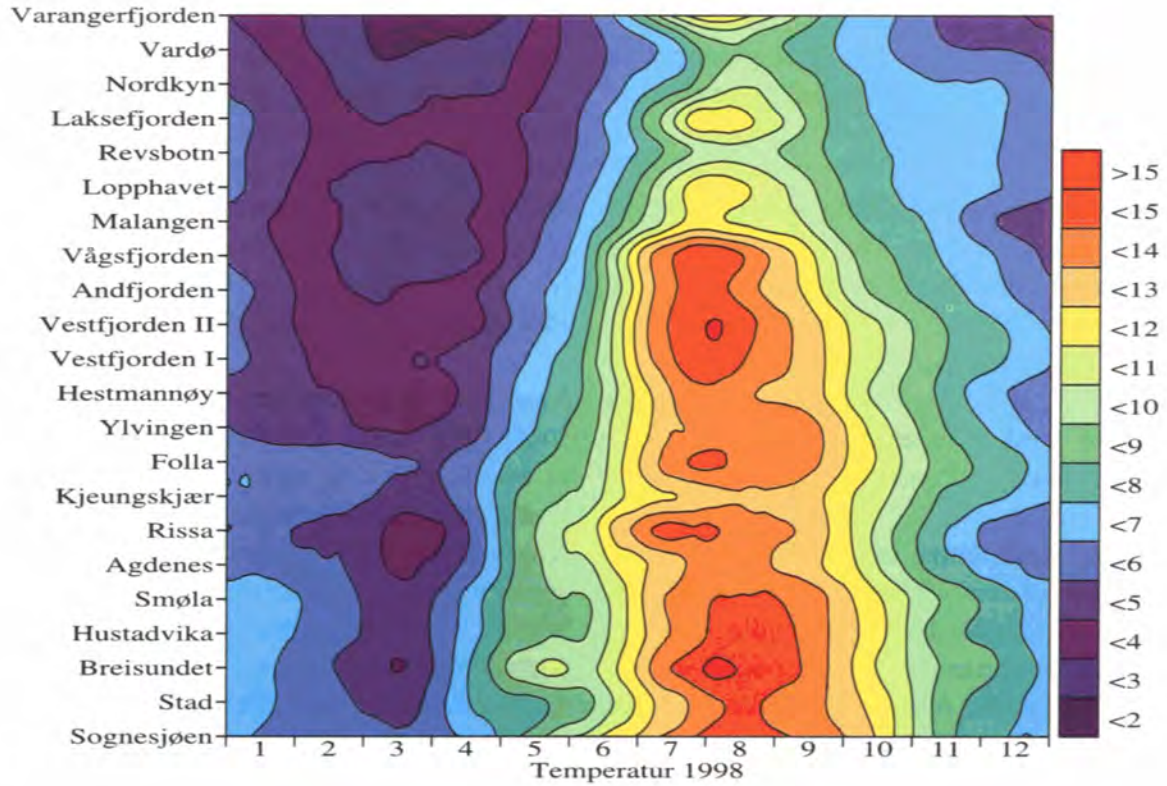
Klimatilstanden i kystfarvannene observeres regelmessig på faste hydrografiske stasjoner fra Lista til Ingøy (to-fire ganger per måned) (figur 0,1). På disse stasjonene blir temperatur og saltholdighet observert i standarddyp fra overflaten til bunnen. Observasjoner av temperatur og saltholdighet i overflatelaget blir observert fra «Hurtigruta» ved en rekke lokaliteter mellom Bergen og Kirkenes (termograftjenesten).

Resultatet av temperaturmålingene fra Hurtigruta i 1998 sammen med avviket fra et middelår er vist i figur 2.6. Her ser vi hvordan temperaturforholdene i overflatelaget langs kysten fra Sognesjøen til Varangerfjorden har variert gjennom årets 12 måneder. Langs hele kysten var det i 1998 tilnærmet normale temperaturforhold i vinter-, vår- og høstmånedene, med temperaturer litt over det normale i sør og litt under i nord. Den varme sommeren i Nord-Norge førte imidlertid til unormalt høye sjøtemperaturer fra juni til september, og da særlig i Nordland og Troms. Største temperaturavvik ble observert i Andfjorden, med månedlige middeltemperaturer som lå 2.5 - 3 °C over det normale i juli/august. Vintertemperaturene er best egnet til å studere langtidsendringer i havklima i øvre lag av kystvannet. I øvre lag langs norskekysten, her representert ved stasjonene Statt og Vardø, ble de laveste vintertemperaturene i perioden 1936-1998 observert i 1966 og i 1986/87 (figur 2.7). Det var varme vintre omkring 1960, i første del av 1970-årene og omkring 1990. Temperaturforskjellen mellom kalde og varme vintre var 1.5 - 3 °C. Etter den varme perioden i begynnelsen av 1990-årene stabiliserte vintertemperaturene i overflatelaget langs kysten av Øst-Finnmark (Vardø) seg på et nivå litt under det normale etter 1994. Lenger sør, på kysten av Vestlandet (Statt), startet den siste varmeperioden i 1988 og varte fram til 1994, dvs i ca seks år. Etter 1995 har det vært tilnærmet normale vintertemperaturer ved Statt.

Figur 2.8 viser variasjonene i midlere temperatur og saltholdighet i 10 og 150 meters dyp for

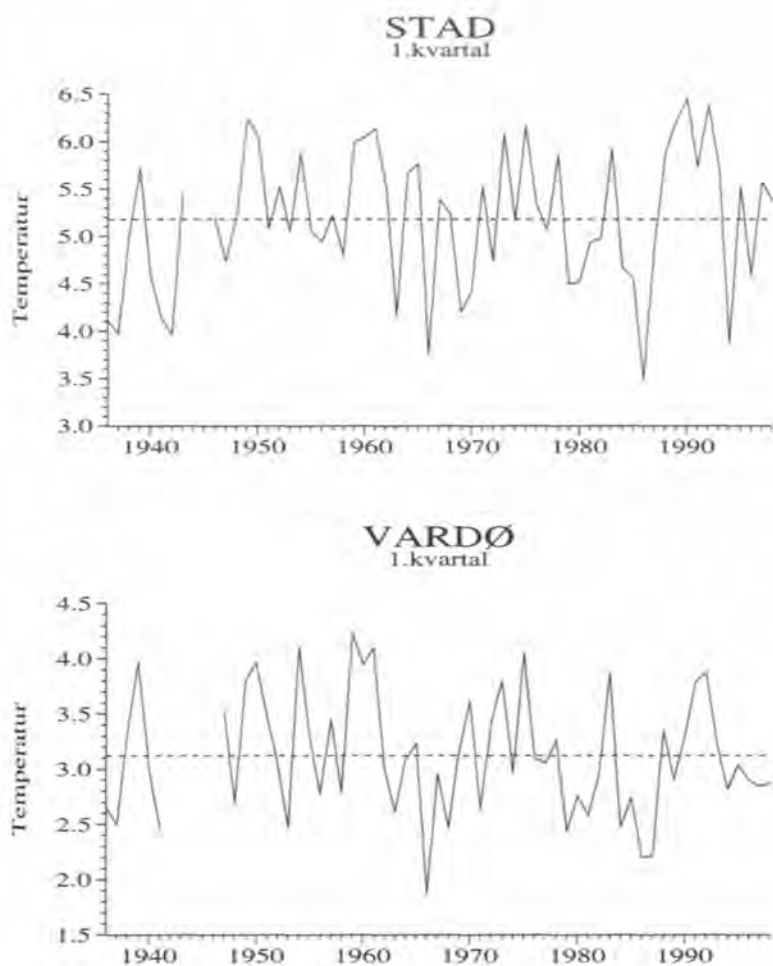
## HURTIGRUTEN

Månedsmidler fra termografstasjoner



**Figur 2.6** Øverst) Temperaturen i overflatelaget langs kysten mellom Sognesjøen og Varangerfjorden i 1998 målt fra Hurtigruta.  
 Nederst) Temperaturanomalier (avvik) i 1998 i forhold til langtidsnormalen.  
*Upper) Temperature of the surface layer along the coast between Sognesjøen and Varangerfjord in 1998 based on observations from the coastal express steamer.*  
*Lower) Temperature anomalies in 1998.*





**Figur 2.7**

Middelverdier og årlige variasjoner i overflate-temperatur i I. kvartal (januar-mars) fra 1936 til 1998 ved Statt og Vardø.

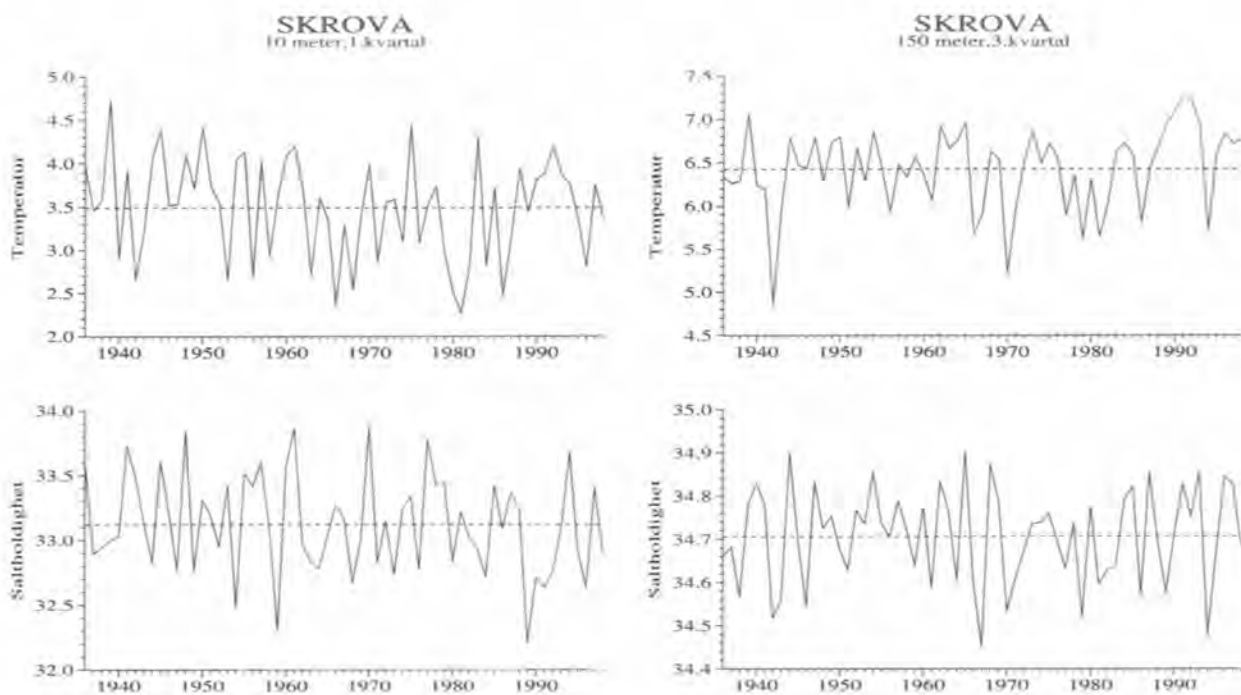
*Mean values and yearly variation of surface temperature (1. quarter) off Statt and Vardø (1936-1998).*

henholdsvis 1. kvartal (januar - mars) og 3. kvartal (juli - september) ved Skrova i perioden fra 1936 til 1996. Forholdene i 10 meters dyp representerer vinterforholdene i den øvre del av kystvannet, som ved siden av de mer storstilte klimavariasjoner er påvirket av lokale og regionale vær- og strømforhold. Dette medfører ofte store endringer i temperatur og saltholdighet fra år til år. I den øvre del av kystvannet ved Skrova var det, som ellers langs kysten, for eksempel varme perioder omkring 1983 og 1990, mens de laveste vintertemperaturene for hele måleperioden ble observert i begynnelsen av 1980-årene. Vinteren 1998 lå temperatur og saltholdighet i overflatelaget i Vestfjorden nær det normale for årstiden. Temperatur- og saltholdighetsforholdene i 150 meters dyp langs kysten gjenspeiler de mer storstilte variasjonene i Atlanterhavsvannet. Etter et relativt kaldt år i 1987 økte temperaturen til et ekstremt maksimum i 1991. Dette gjenspeiler de milde vintrene i perioden 1988-1993 samt økte tilførsler av varmt atlantisk vann til kystområdene. De laveste temperaturene i dypere lag av kyststrømmen ble

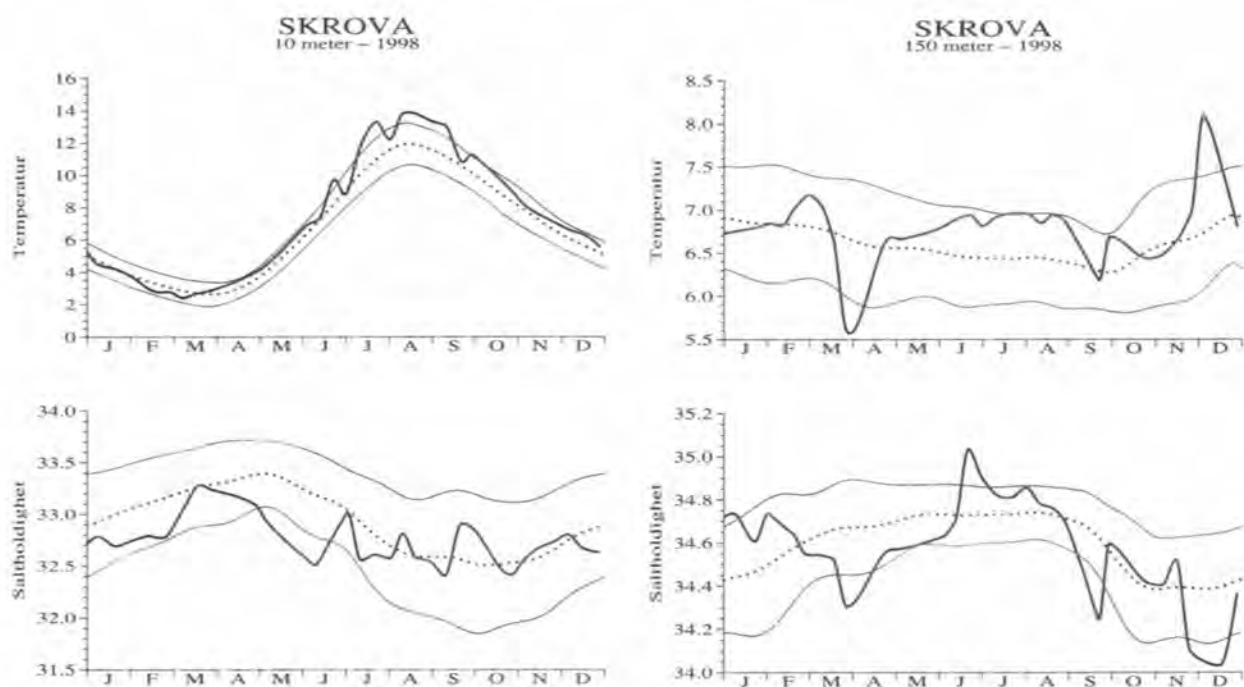
observert i begynnelsen av 1940-årene og omkring 1970 og lå da om lag 2°C lavere enn i det varme året 1991. I 1994 observerte man både lavere temperaturer og reduserte saltholdighetsverdier - en klar indikasjon på reduserte tilførsler av atlantisk vann. Etter 1994 har temperaturen igjen økt og i 3. kvartal 1998 lå temperaturen litt over det normale for årstiden.

Figur 2.8 viser variasjonene av temperatur og saltinnhold i overflatelaget (10 meters dyp) og i 150 meters dyp ved Skrova gjennom 1998, sammenlignet med de gjennomsnittlige sesongvariasjoner og standardavvik. I overflatelaget ser vi igjen resultatet av den varme sommeren i Nord-Norge, med unormalt høye sjøtemperaturer fra juni til september. For resten av året lå temperaturene innenfor det normale for årstiden. I 1998 var det stort sett normale temperturforhold i 150 meters dyp i Vestfjorden, med unntak av en periode med nedstrømning av ferskere og kaldere kystvann i mars - april og varmt kystvann i slutten av november.





**Figur 2.8** Middelverdier og årlige variasjoner i temperatur og saltholdighet i 10 (1. kvartal) og 150 meters dyp (3. kvartal) fra 1936 til 1998 ved Skrova.  
*Mean values and yearly variation of temperature and salinity at 10 (1. quarter) and 150 m depth (3. quarter) at Skrova (1936-1997).*



**Figur 2.9** Temperatur og saltholdighet i 10 og 150 meters dyp målt ca hver 10. dag ved Skrova i 1998. Midlere årsvariasjon (tynn linje) og standardavvik (prikket linje) er også vist.  
*Temperature and salinity at 10 and 150 m depth measured about every 10th day at Skrova in 1998. Mean seasonal variation (thin line) and standard deviation (dotted) are also shown.*

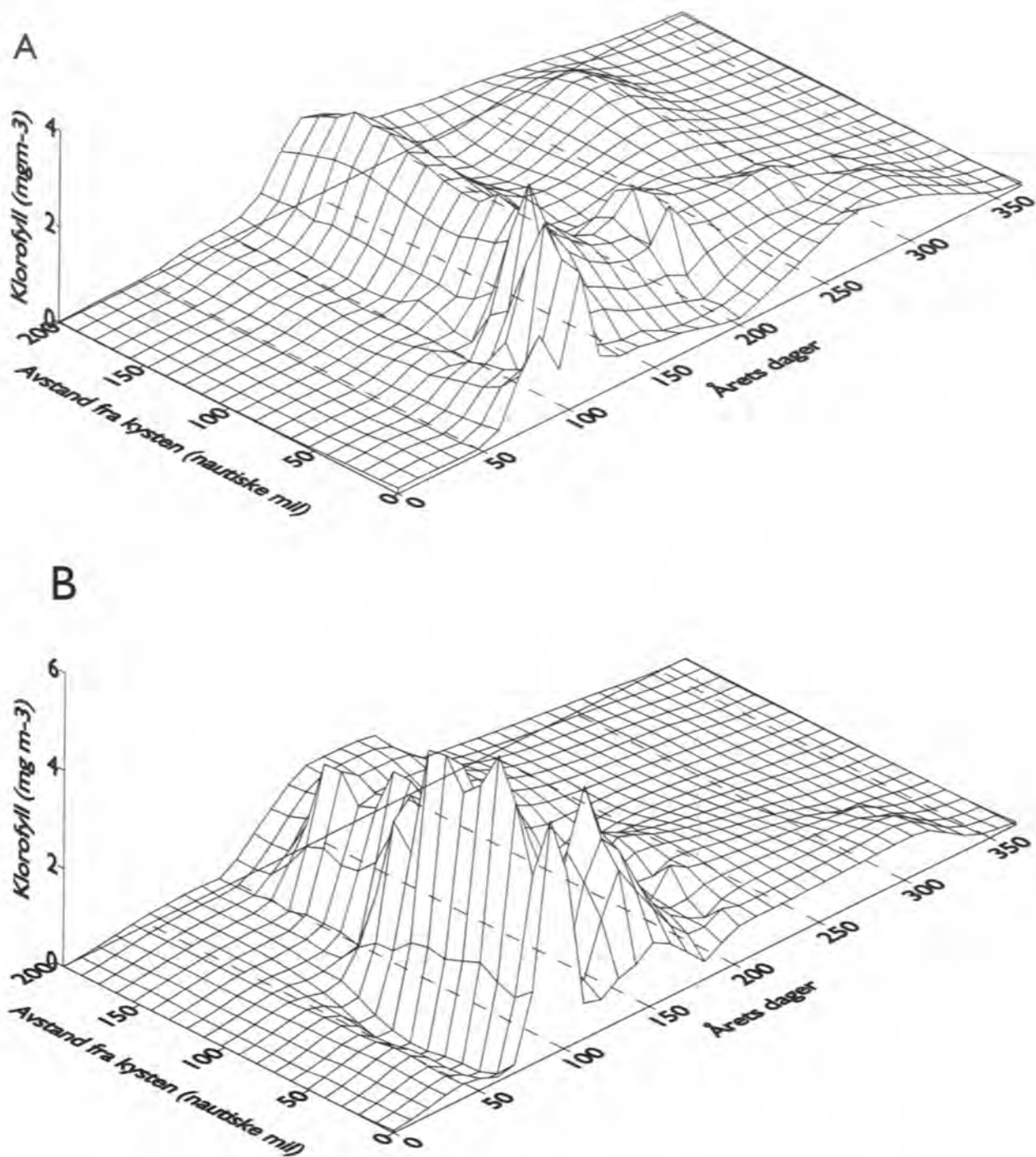
## 2.2 Plankton og næringsalter

En av de viktigste faktorene for primærproduksjonen i Grønlandshavet er isutbredelsen om vinteren/våren og ismeltingen om sommeren. Ismeltingen fører til dannelse av et stabilt overflatelag som er en nødvendig betingelse for oppblomstring av planteplankton tidlig om våren. I områder som ikke blir dekket av is om vinteren utvikler stabiliteten i overflatelaget seg mye langsommere, og da hovedsakelig som et resultat av oppvarmingen fra atmosfæren. I perioden 1993-1995 ble det observert usedvanlig lite is i Grønlandshavet om vinteren, noe som førte til forholdsvis lite smeltevann og lavere stabilitet i overflatelaget. I denne perioden var våroppblomstringen i de sentrale deler av Grønlandshavet dominert av diatoméer. Veksten av disse ble utover våren gradvis hemmet av silikatmangel, selv om det ennå var en del nitrat igjen. Diatoméene ble etterhvert erstattet av flagellaten *Phaeocystis pouchetii* som forbrukte resten av nitraten utover sommeren.

Vinteren 1996 ble det observert store mengder is i Grønlandshavet, i sterkt kontrast til perioden 1993 - 1995. Den såkalte "isodden" strakk seg over Grønlandshavet mot sørspissen av Svalbard og var spesielt tydelig i slutten av april og tildels også i juli - august 1996. Sommeren 1996 var derfor store deler av det sentrale Grønlandshavet dekket av smeltevann med saltholdighetsverdier under 34,5 ‰. Planteplanktonkonsentrasjonen var relativt lav (< 1 mg klorofyll per m<sup>3</sup>) og totalt dominert av diatoméer. Flagellaten *Phaeocystis pouchetii* ble nå ikke observert i området. Våren 1997 (mai) var igjen preget av mye is, og biomassen av planteplankton var lav og dominert av diatomeer og små flagellatalger over den sentrale delen av Grønlandshavet. Bare i iskantområdet mot Grønland og tildels i den arktiske fronten mot Norskehavet var det antydning til en begynnende våroppblomstring. Næringssaltkonsentrasjonene var høye over hele

området, noe som bekrefter at forholdene i mai fortsatt var vinterlige. Observasjonene i august 1998 viste en situasjon ganske lik den i 1996, med en kraftig lagdeling i det øverste laget forårsaket hovedsakelig av smeltevann. I alt viste observasjonene i perioden 1993-1998 at variasjonene i isdekket i Grønlandshavet hadde stor innvirkning på produksjonsforholdene i den nordlige delen av Norskehavet og Grønlandshavet.

I det sørlige Norskehavet var det, både i 1997 og i 1998, en hyppig dekning av miljøforholdene i Svinøysnittet ved Statt (figur 0.1). Dette har gitt oss anledning til å følge utviklingen av bla planteplankton gjennom hele året. Figur 2.10 viser fordelingen i tid og rom av klorofyll *a*, en indeks for biomassen av planteplankton. I 1997 var det lave konsentrasjoner av klorofyll *a* langs hele Svinøysnittet fram til dag 40 (9. februar) ved kysten og til dag 50 (19. februar) i den ytterste del av snittet (figur 2.10 A). Denne perioden representerer vintersesongen. Etter vintersesongen ble det nær kysten observert en markert økning i klorofyll *a* fram til et maksimum ca. dag 100 (10. april), som representerer perioden for planteplanktonets våroppblomstring. Lenger ut i havet var overgangen fra vintersesongen til våroppblomstringen mer langstrakt. I den ytterste del av snittet, i atlantiske vannmasser, var overgangen så langstrakt at man gjerne kan snakke om en "førblomstringsperiode" før maksimum i konsentrasjon av klorofyll *a* inntraff ca. dag 150 (30. mai). Etter våroppblomstringen og ut året var det betydelig lavere konsentrasjoner av klorofyll *a*, med innslag av enkelte mindre blomstringer om høsten. I 1998 var hovedmønsteret i utviklingen av planteplankton det samme som observert i tidligere år, men våroppblomstringen inntraff ca tre uker tidligere og var kraftigere langs hele Svinøysnittet sammenlignet med forholdene i 1997 (figur 2.10 B).



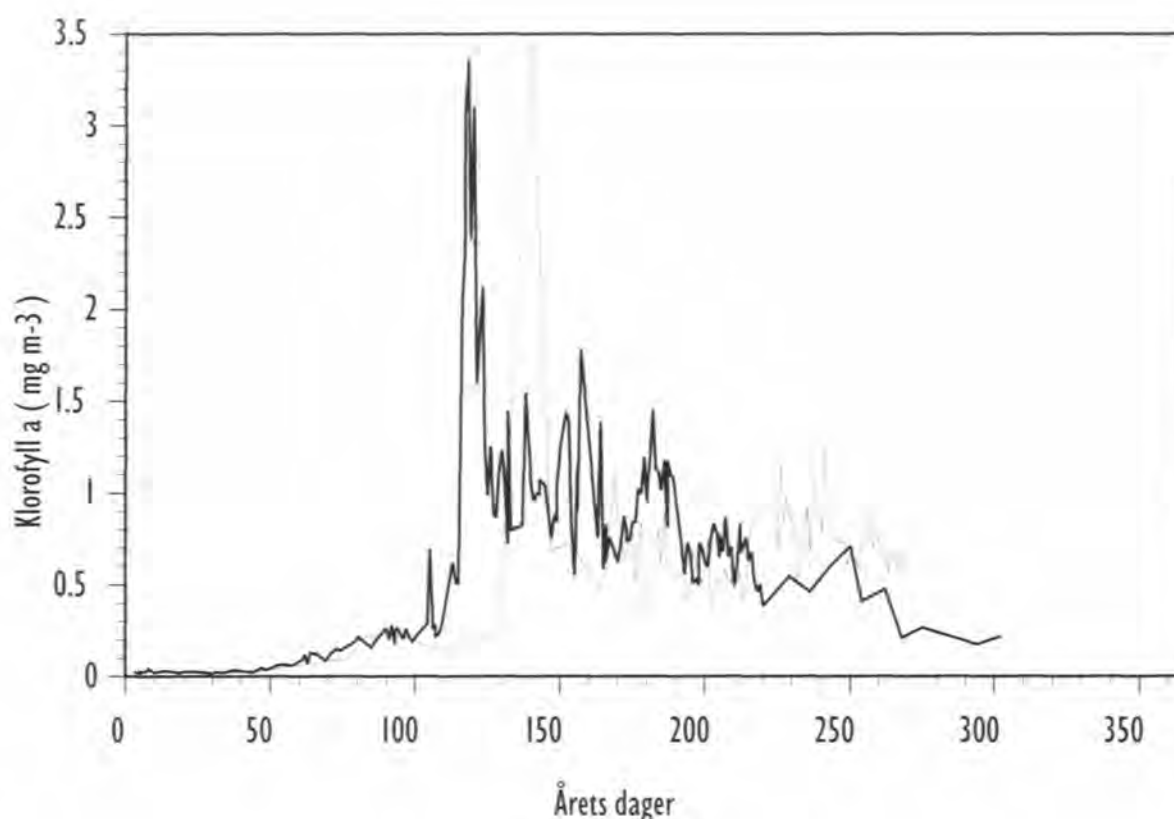
**Figur 2.10** Fordeling i tid og rom av klorofyll a i Svinøysnittet. A) 1997. B) 1998.  
*Distribution in space and time of chlorophyll a at the Svinøy section. A) 1997. B) 1998.*

### Værskipsstasjon M (66°N, 02°Ø)

Som tidligere nevnt, har de fysiske forholdene i overflatelaget stor betydning for utviklingen av primærproduksjonen i Norskehavet. Viktigst i denne sammenheng er faktorer som lysforhold og vertikal lagdeling i vannmassene. Oseano-

grafiske undersøkelser foretatt siden 1948 på Værskipsstasjon "M" (st M) i Norskehavet (figur 0.1), har bidratt til utforming av teorien om hvordan fysiske forhold påvirker utviklingen av planteplanktonets vekst om våren.





**Figur 2.11** Klorofyll *a* i 10 meters dyp gjennom året ved stasjon M. Tynn linje: 1997, tykk linje: 1998. *Distribution of chlorophyll a at 10 m depth during the year at Weather Station Mike. Thin line: 1997; thick line: 1998.*

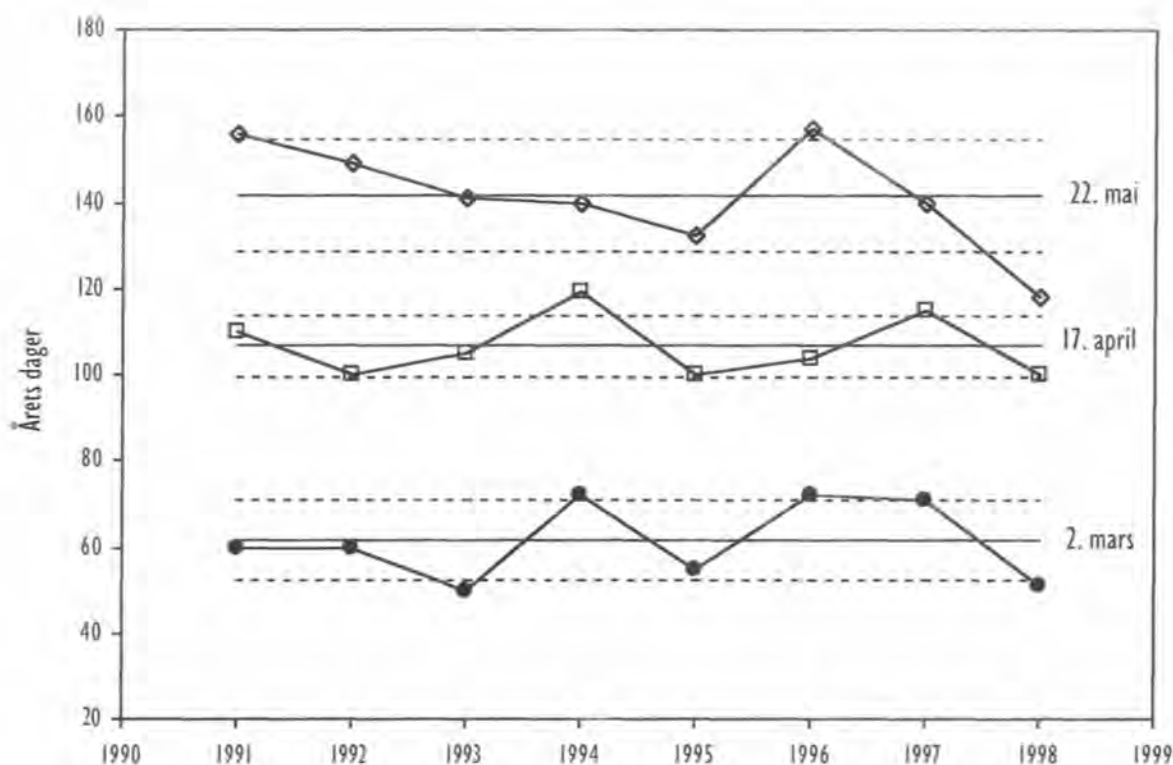
Havforskningsinstituttet har det siden 1990 utført regelmessige observasjoner av fysiske og biologiske data på "st M" i Norskehavet. Observasjonene tas fra værskipet M/S "Polarfront". Innsamlingshyppigheten er avhengig av type parameter og har variert fra daglige til ukentlige målinger.

Utviklingen av klorofyll *a* i 1997 og 1998 ved "st M" lignet forholdene i ytre del av Svinøysnittet (figur 2.11), med en vintersituasjon fram til ca. dag 50 (19. februar), en "førblomstringsperiode" fra dag 50 (19. februar) til dag 130 (10. mai) i 1997 og til dag 100 (10. april) i 1998. Selve vårblomstringen inntraff med et maksimum ca dag 140 (20. mai) i 1997 og dag 118 (18. april) i 1998.

Det var tre ukers forskjell i tid mellom oppblomstring av planteplankton i 1997 og i 1998, observert både ved "st M" og i Svinøysnittet. Dette hadde trolig stor betydning for dyreplanktonproduksjonen i Norskehavet, da utviklingen av

dyreplankton i Norskehavet er sterkt knyttet til våroppblomstringen. Dyreplankton er bla sildas hovedføde, og år til år forskjellen i planteplanktonforholdene har dermed også innvirkning på sildas næringsforhold i Norskehavet.

Den åtte års lange tidsserien av målinger ved "st. M" (1991-1998) gir oss anledning til å se hvordan tidspunktet for våroppblomstringen varierte fra år til år i denne delen av Norskehavet. I figur 2.12 er de tre fasene for planteplanktonets utvikling angitt. Vi ser at vinterperioden i et "normalår" varer fram til ca 2. mars. I hele perioden lå varigheten av vinterperioden innenfor et standardavvik fra det normale. Førblomstringsperioden strekker seg i gjennomsnitt fra 2. mars til 17. april. Også her lå de årlige variasjonene, med unntak av 1994, innenfor et standardavvik. Selve våroppblomstringen starter normalt omlag 17. april og oppnår et maksimum ca 22. mai, men her har de årlige variasjonene vært langt større og da særlig i de siste årene. Med unntak av 1996, ser det ut til at våroppblomstringen si-



**Fig. 2.12** År til år variasjoner i diverse faser i planteplanktonets utvikling ved stasjon "M" i perioden 1991-1998. Sirkler: vinter periode; firkanter: førøppblomstring periode; diamanter: vårøppblomstring. Hel linje representerer middel og brukket linje ett standardavvik.

*Year to year variation in the different phases of the development of phytoplankton at Weather Station Mike in the period 1991 to 1998. Circles: winter phase; squares: pre-bloom phase; diamonds: spring bloom. Continuous lines represents the average for each period. Broken lines represents one standard deviation for each period.*

den 1991 har inntruffet tidligere for hvert år og har kortere varighet. Hva som er årsaken til den stadig tidligere vårbloomstring er ennå uklart, men mye tyder på at økt transport av arktisk vann til Norskehavet via Øst-Islandstrømmen kan være en viktig faktor. Disse vannmassene har større vertikal stabilitet og kan ha redusert dybden på blandingslaget om vinteren. Dette kan medføre en raskere oppvarming om våren og en tidligere lagdeling i overflatelaget, med en tilsvarende tidligere våroppblomstring.

#### Miljøforholdene i Ofotfjorden

Etter at sommerbeitesesongen er over i Norskehavet, vandrer den norske vårgytende silda til overvintringsområdene hvor den danner tette

konsentrasjoner. I disse områdene blir silda inntil gyttevandringen begynner igjen tidlig på vinteren. I de siste 40 år har man kunnet identifisere flere overvintringsområder. I løpet av 1950-årene da bestanden var stor (omkring 10 millioner tonn), overvintret silda i et område øst for Island. I 1963-1966 var bestanden redusert til 3-4 millioner tonn, og mesteparten av silda overvintret utenfor norskekysten i de nordlige deler av Norskehavet. Etter at bestanden brøt sammen på slutten av sekstitallet overvintret restene av bestanden i flere fjorder langs norskekysten. Under gjenoppbygging av bestanden i de siste år, hvor 1983-årsklassen var den dominerende, har silda begynt å overvintre i Ofotfjorden og tildels i Tysfjorden. Overvintringen i disse fjordene begynte i 1987. Den store

konsentrasjonen av silda i et begrenset fjordområde har ført til betydelig reduksjon av oksygeninnholdet i disse fjordområdene om høsten og vinteren.

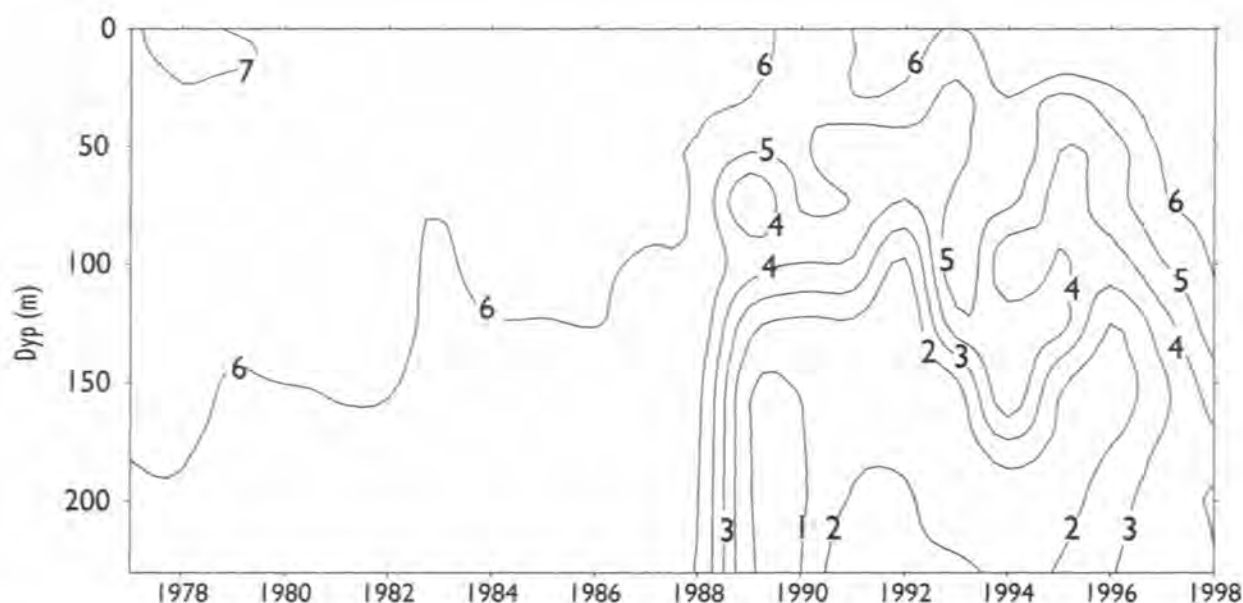
Havforskningsinstituttet har fulgt miljøutviklingen med en serie undersøkelser gjennomført hvert år i november måned. Figur 2.13 viser oksygenforholdene i Ofotfjorden på en stasjon utenfor Narvik. Observasjonene viser en kraftig nedgang i oksygenkonsentrasjonene under ca 100 meters dyp etter 1988, med konsentrasjoner ned til like under 1.0 ml/l i 1990. De lave oksygenkonsentrasjonene har holdt seg ganske uforandret de siste årene i de dypere deler av fjorden. Som regel inntreffer de laveste oksygenverdiene i januar måned, når silda begynner sin vandring ut av fjordsystemet. I de siste to-tre åra har imidlertid en større andel av silda overvintret også i deler av Tysfjorden, og en lignende reduksjon av oksygeninnholdet er blitt observert i der. I november 1996 og særlig i 1997, var det for første gang etter 1990 en markert forbedring i de dypeste vannlag med oksygenkonsentrasjoner omkring 3.0 ml/l. Denne trenden fortsatte også i 1998 og da særlig i de øverste 180

meter, mens det var litt lavere konsentrasjoner like over bunnen av fjorden.

De økte oksygenkonsentrasjonene i 1997 og 1998 kan ha sammenheng med økt innstrømming av vann fra kysten til Ofotfjorden. Den mest sannsynlige forklaring er likevel den endrete sildefordelingen de siste åra, hvor en større del av den overvintrende silda nå oppholder seg i Tysfjorden og i indre deler av Vestfjorden.

### Dyreplankton

Innsamling av dyreplankton i Norskehavet er som tidligere år foretatt med en planktontrål (MOCNESS) og med en ordinær loddrett trukket planktonhåv, kalt WP-2. Større planktonorganismer som krill og amfipoder fanges dårlig i slike relativt små fangsredskaper. På en rekke stasjoner ble det derfor også tatt prøver med en tradisjonell trål for å fange større planktonorganismer. I tillegg til innsamlingen i Norskehavet ble det samlet inn planktonprøver relativt hyppig på to snitt fra norskekysten og ut i Norskehavet, det ene ved Svinøy (Møre og Romsdal), det andre ved Gimsøy (Nordland) (figur 0.1).



**Fig. 2.13** Vertikal fordeling av oksygen ( $\text{ml l}^{-1}$ ) i Ofotfjorden utenfor Narvik i perioden 1977-1998.  
*Vertical distribution of oxygen ( $\text{ml l}^{-1}$ ) at a station off Narvik in the Ofotfjord during the period 1977-1998.*

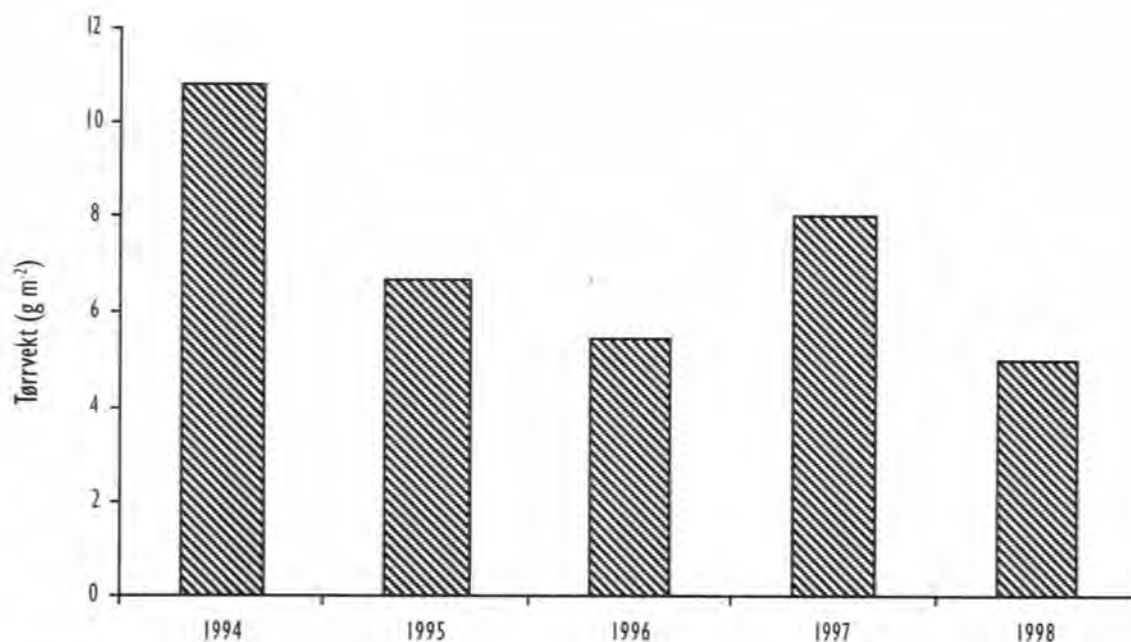


Østlige og sentrale deler av Norskehavet ble undersøkt i mai 1997 og 1998. Mens en i 1997 observerte en midlere biomasse for alle stasjonene på ca  $8.4 \text{ g m}^{-2}$ , var denne i 1998 økt til  $12.2 \text{ g m}^{-2}$ . Endringen var størst i østlige del av Norskehavet (øst for  $2^{\circ}\text{V}$ ) hvor midlere biomasse økte med nærmere 80 % fra 1997 til 1998. Mens silda vandret raskt vestover i mai 1997, fant vi hovedtyngden vesentlig lenger øst i Norskehavet i 1998. Vi tolker dette slik at de betydelig bedre beiteforhold nærmere Norskekysten i 1998 senket den vestlige vandrings hastigheten til silda. (Les mer om miljø og sild i temaartikkel bak i rapporten).

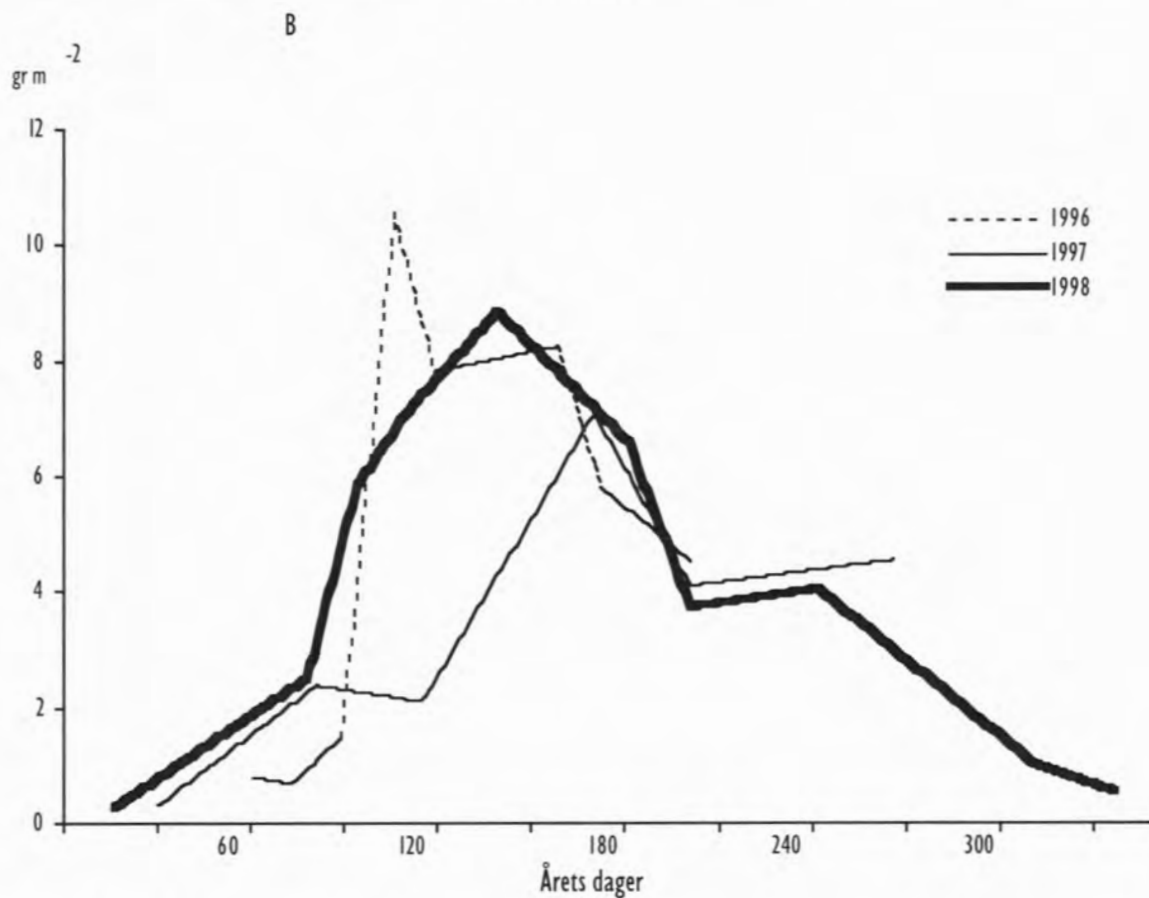
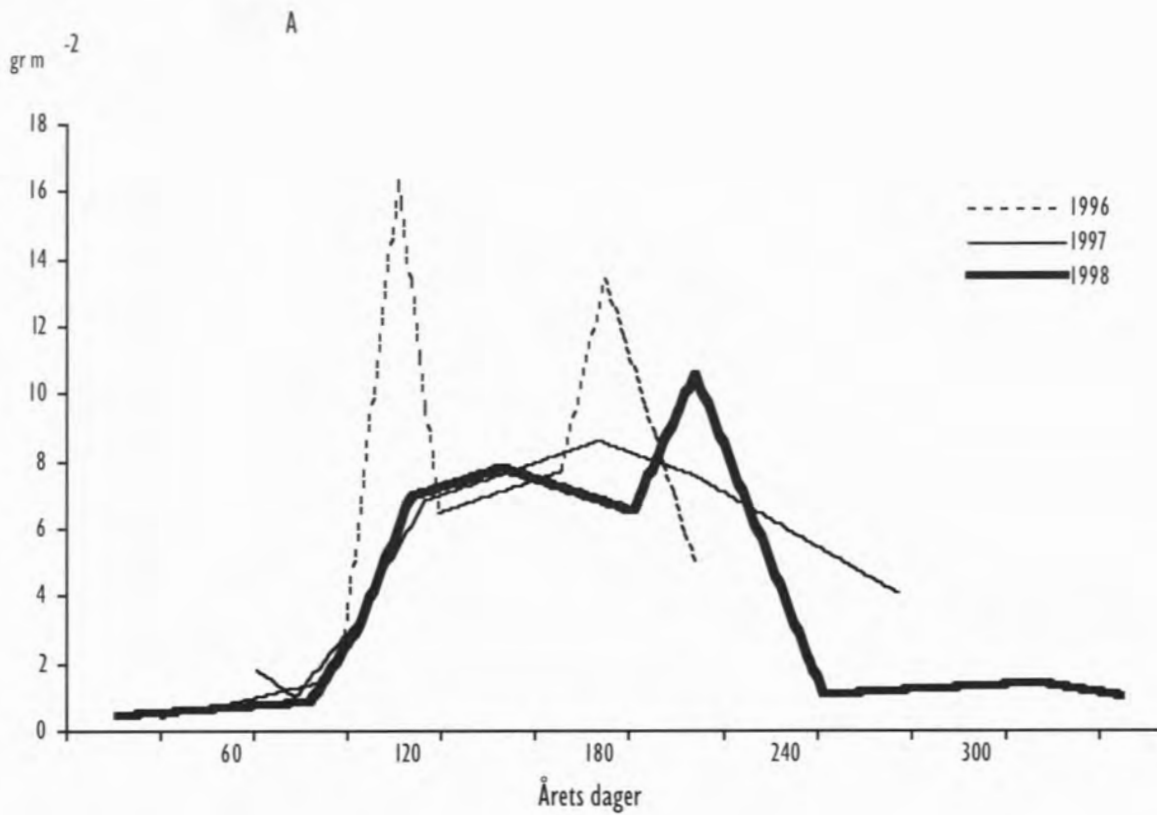
Den samme del av det sentrale og østlige Norskehavet har også vært undersøkt hver sommer (juli-august) de siste fem årene. Det har vært en markert nedgang i planktonmengdene om sommeren siden målingene startet i 1994 (figur 2.14). Tilsynelatende var planktonmengdene større i 1997 enn i 1996 og 1998. Trolig skyldes "økningen" i 1997 både at undersøkelsene i 1997 ble utført litt tidligere på sommeren ( juni-juli)

da biomassen i Norskehavet generelt er høyere enn i juli-august, og en forsinket produksjon av førstegenerasjons raudåte i 1997.

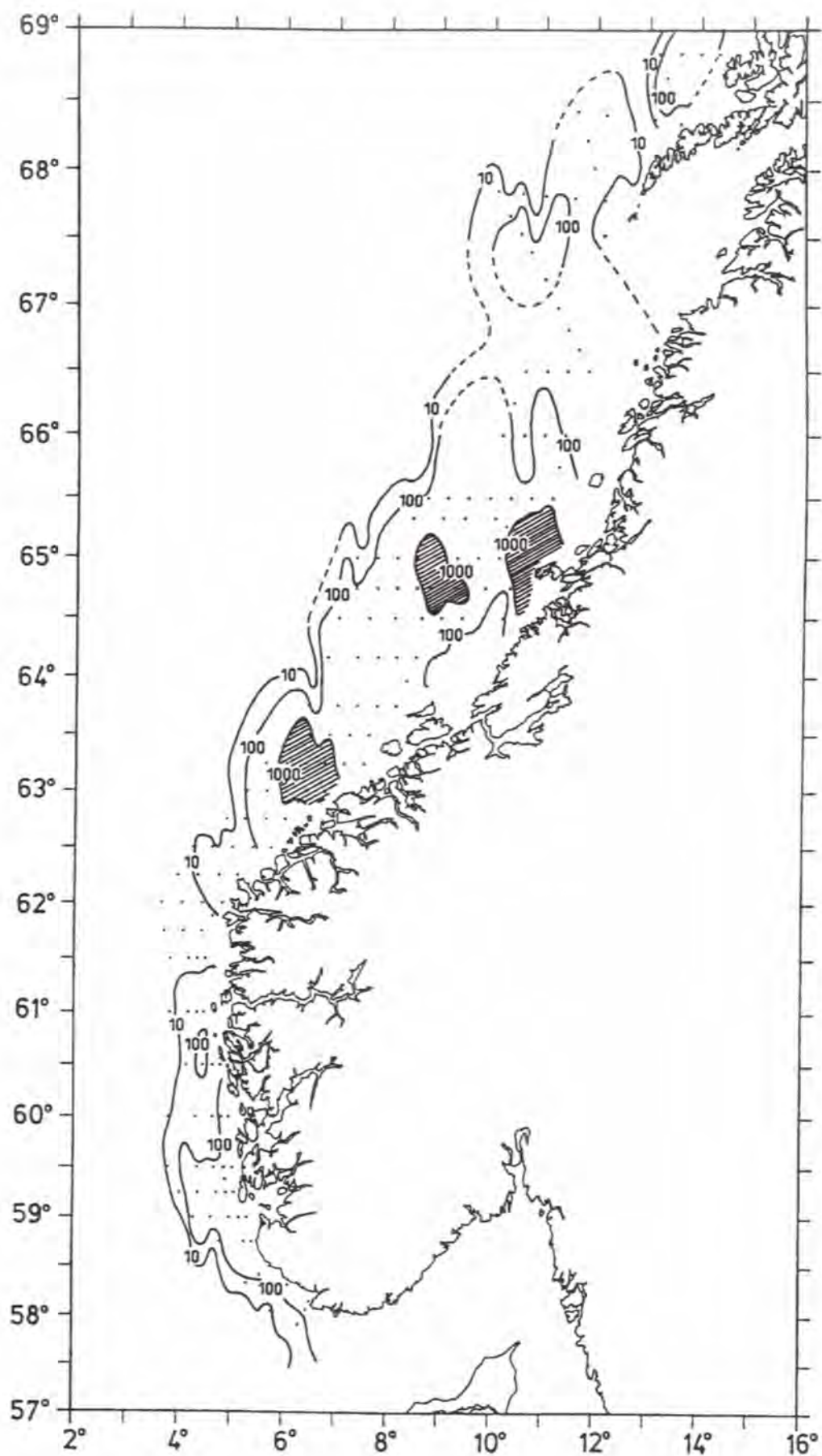
Figur 2.15 A og B viser mengdene av dyreplankton på Svinøysnittet i 1996, 1997 og 1998 som et gjennomsnitt for de østlige og vestlige deler av snittet. I den østlige delen, hovedsakelig over kontinentalsokkelen, var biomassen lav i de tre første månedene, ca.  $1 \text{ gr m}^{-2}$ . Små forskjeller ble observert fra år til år. Lengre vest var også biomassene lave i januar, mens det skjedde en økning allerede i februar-mars. Økningen mot et maksimum syntes å skje tidligere i 1996 og 1998 enn i 1997. Som tidligere nevnt var vår-oppblomstringen på Svinøysnittet også tidligere og kraftigere i 1998 enn året før. Generelt var mengdene dyreplankton høyere i 1998 enn i 1997. En skal være oppmerksom på at det i perioder går lang tid mellom hver innsamling, opp mot to måneder, noe som kan medføre at en ikke observerer eventuelle maksima og minima og endringer i planktonmengdene. Dette vanskeligjør tolkningen av resultatene.



**Figur 2.14** Midlere biomasse av dyreplankton (tørrvekt  $\text{g m}^{-2}$ ) i Norskehavet i juli - august fra 1994 til 1998.  
*Mean zooplankton biomass (g dry weight  $\text{m}^{-2}$ ) in the Norwegian Sea in July - August from 1994 to 1998.*



**Figur 2.15** A, B. Planktonmengder ( $\text{g tørrvekt m}^{-2}$ ) på Svinøysnittet fra 1996 til 1998.  
 A. Østlige del av snittet; sokkel og kontinentalskråning.  
 B. Vestlige del av snittet, kontinentalskråning og dyphav.  
 Zooplankton biomass ( $\text{g dry weight m}^{-2}$ ) at the Svinøy transect from 1996 to 1998.  
 A. Eastern part of the section. B. Western part of the section.



**Figur 2.16** Utbredelse av sildelarver (alle stadier) 9. - 24. april 1998.  
*Distribution of herring larvae 9 - 24 April 1998.*

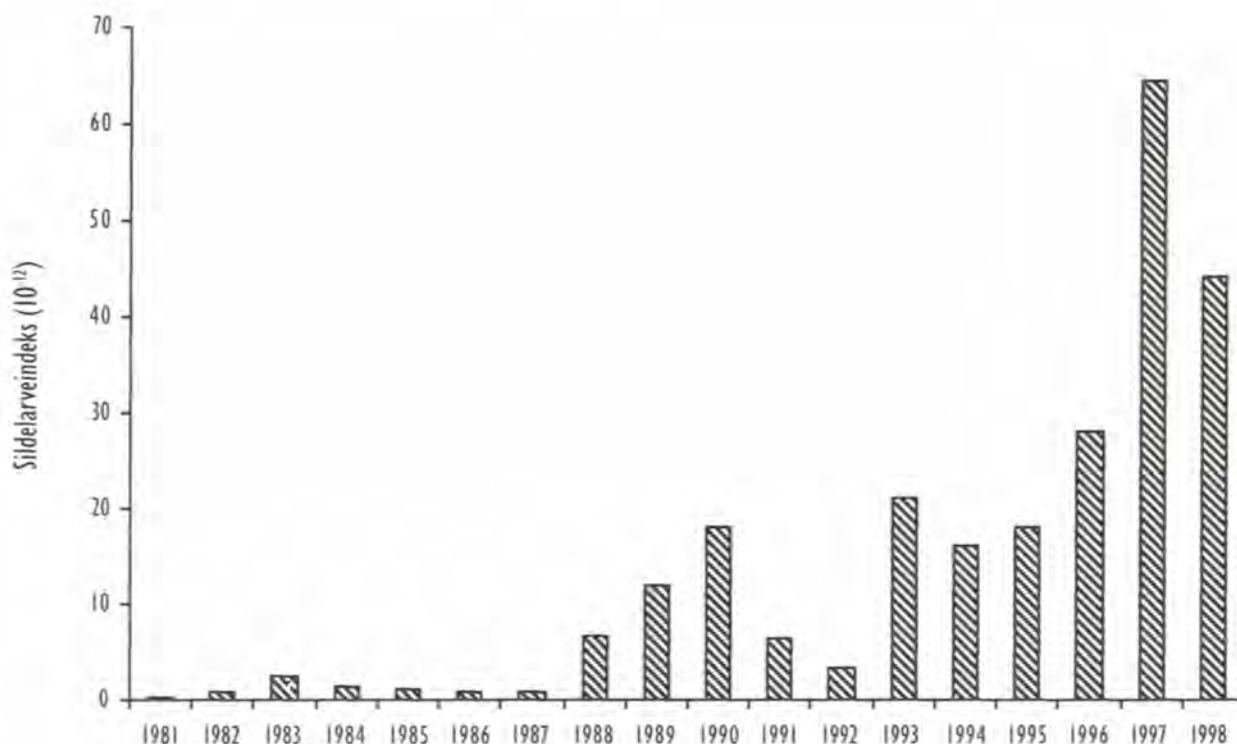


## 2.3 Yngelproduksjon

### Sild

Årets sildelarvetokt startet fra Tromsø 6. april. Arbeidsforholdene var gode under store deler av toktet. Sokkelen fra Vesterålen til Lista ble dekket med i alt 168 stasjoner (figur 2.16). Stasjonsarbeidet startet ut for Vesterålen mens nordgrensen for sildelarver ved starten av toktet lå mellom Vesterålen og Fugløya - Bjørnøyasnittet. Tettheten av larver over Røstbanken var noe lavere enn i 1997. Sildelarvene i den nordlige delen av undersøkelsesområdet var i de senere plommesekkstadiet, omlag en uke etter klekking. Det ble funnet lite larver i området mellom Lofotodden og Vega. Herfra og sørover ble det funnet et bredt belte av larver med tettheter på over 100 per m<sup>2</sup>. De høyeste verdiene på over 1000 larver per m<sup>2</sup> ble funnet ved Sklinnabanken,

Haltenbanken og Buagrunden. Det ble også funnet et belte med larver fra Bergensområdet og sørover helt til Lista, der årets undersøkelse ble avsluttet. Det var en nedgang i larvemengdene forhold til rekordåret 1997, men årets indeks på  $44,2 \times 10^{12}$ , var allikevel den nest høyeste siden 1985 (figur 2.17). Det ser også ut til at en stor del av sildelarvene hadde et vellykket første næringsopptak i 1998 og var i god vekst. Dette var spesielt tydelig i kjerneområdet mellom Møre og Træna, der over halvparten av larvene var i stadium 2a (begynnende utvikling av ryggfinne). Totalantallet i dette stadiet var  $21 \times 10^{12}$ , bortimot dobbelt så mange som vi har funnet i noe annet år. Et annet uttrykk for sildelarvenes gode vekst var den høye gjennomsnittslengden på ca 12,0 mm.



**Figur 2.17** Sildelarveindeksen for perioden 1981-1998.  
*The index of herring larvae for the period 1981 to 1998.*

I store trekk var larvefordelingen i 1998 mye lik den som ble funnet i 1997, med hovedtyngden av larver mellom Møre og Træna. Ut fra informasjon samlet inn på årets sildelarvetokt og opplysninger fra et tokt for å undersøke gytebestanden i februar/mars, kan en danne seg følgende bilde av årets sildegyting:

- Den kan ha startet noe tidligere enn i 1997 i de sentrale delene av gyteområdet. Mer rennende sild på toktet over gytefeltene og større larver på larvetoktet tyder på dette.

- Ut fra størrelsen på og utviklingen av larvene kan en anslå hovedklekkingen til å ha funnet sted rundt 25. mars.

- Våroppblomstringen synes å ha kommet godt i gang på dette tidspunkt, slik at larvene fikk et godt første næringsopptak med god vekst og overleving.

- Larvene i den sørligste delen av det undersøkte området syntes å være klekket bortimot en måned senere enn i de sentrale delene av gyteområdet.

Larveindeksen må imidlertid brukes med forsiktighet, da den er følsom for forskjellen i tid mellom observasjonstidspunkt og sildelarveklekking. Ser en på sildelarveindeksen fra tidligere år er verdiene noe endret. Dette kommer av at sildelarveindeksen nå er korrigert for bruk av forskjellige redskapstyper. Korrigerer en for en jevn 5 % dødelighet per dag i perioden fra larvene klekkes til de blir observert under toktet, får en larveindekser på 89 og 110 x 10<sup>12</sup> for henholdsvis 1998 og 1997. Nedgangen i larveantall fra 1997 til 1998 trenger nødvendigvis ikke skyldes en nedgang i gytebestanden. Nedsatt kondisjon og derav lavere gonadevekt hos silda kan være en like sannsynlig forklaring.

Årets sildegyteing ser foreløpig ut til å ha vært vellykket, men mange forhold må falle på plass for at vi skal få en ny sterk årsklasse som i 1983, 1991 og 1992. Blant annet må strømforholdene være gunstige, slik at larvene, yngelen og ungsilda blir ført inn i områder med gode oppvekstbetingelser. I tillegg bør beitingen fra fisk, sjøfugl og pattedyr være moderat.

## 3. ØKOSYSTEM NORDSJØEN OG SKAGERRAK

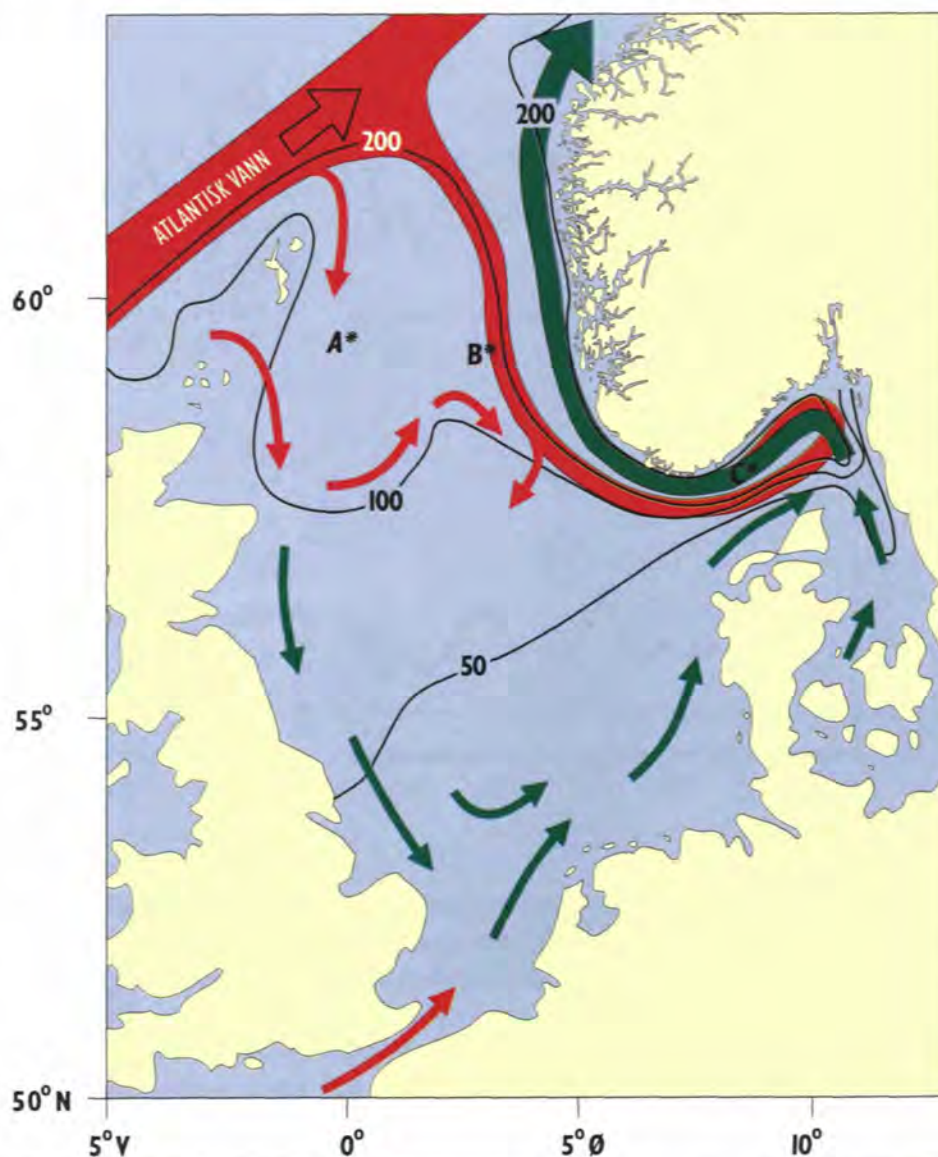
### 3.1 Havklima

#### Nordsjøen

Nordsjøen er hovedsakelig et grunnhav, hvor omkring 2/3 av området er grunnere enn 100 meter. Norskerenna er et karakteristisk trekk hvor dypet går ned til over 700 meter i Skagerrak. Dybdeforholdene er viktige for sirkulasjonen i Nordsjøen, da topografien i stor grad styrer vannmassenes bevegelse. Vannmassene i Nordsjøen har sin opprinnelse i innstrømmingen av atlantisk vann med høy saltholdighet fra Norskehavet og ferskvannstilførsel fra land (figur 3.1). Om

vinteren er vertikalblandingen stor i de grunne områdene, slik at det blir små temperaturforskjeller mellom overflaten og bunn. Oppvarmingen om sommeren lager et markert temperatursprang i 20-50 meters dyp.

Vannmassene i Nordsjøen strømmer hovedsakelig mot klokken (figur 3.1), og nesten alt vannet må innom Skagerrak før det forlater området nordover via den norske kyststrømmen. Dette



**Figur 3.1**  
De viktigste trekkene i sirkulasjonsmønsteret og dybdeforhold i Nordsjøen og Skagerrak. Lokalisering av stasjonene A, B og C. Røde piler: Atlantisk vann. Grønne piler: Kystvann.

*The most conspicuous features of the circulation and bathymetry of the North Sea and Skagerrak. Stations A, B and C.*

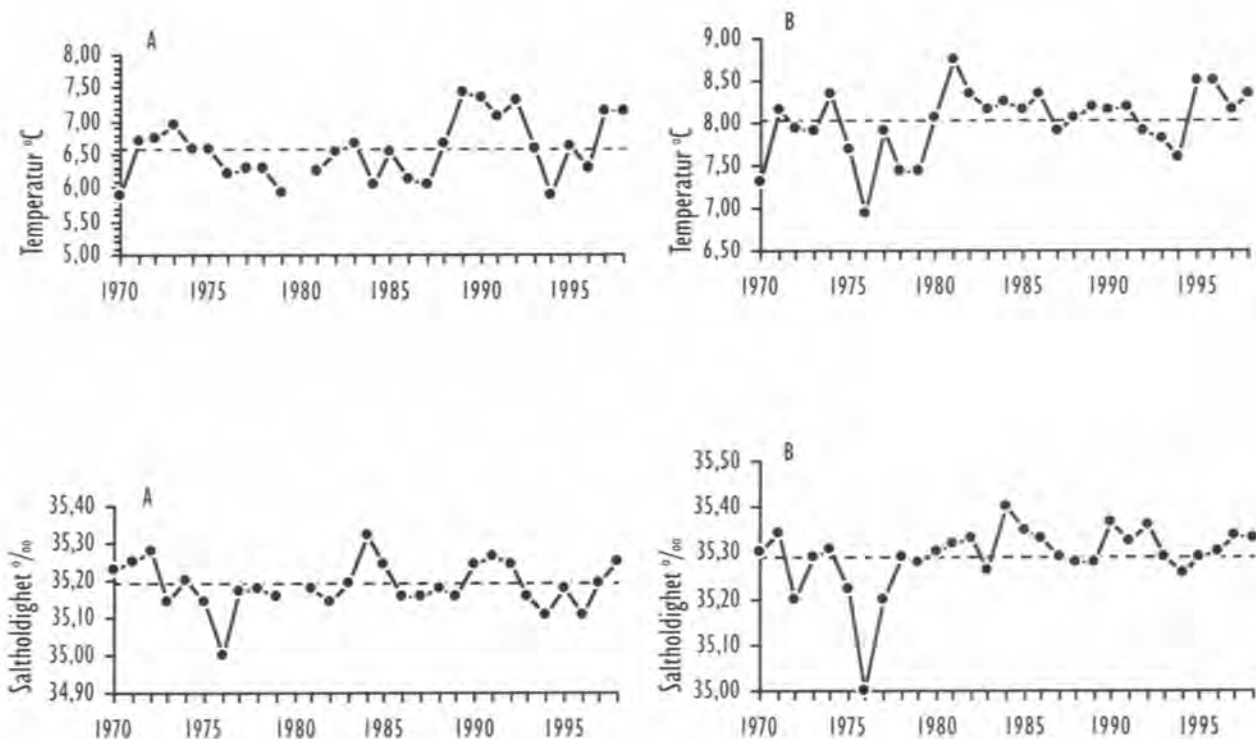


bildet er hva vi kan kalle en klimatisk middel-situasjon. Variasjoner i dette bildet fra et år til et annet, det vi kaller havklimavariasjoner, har stor innflytelse på hele det økologiske systemet i Nordsjøen. De viktigste årsakene til klima-variasjonene er endringer i innstrømning av atlantisk vann, vindforhold, varmeutveksling med atmosfæren og ferskvanntilførselen.

Temperaturen i vannmassene over store deler av Nordsjøen var relativt høye vinteren og våren 1998, i middel omlag 1.5 °C varmere enn det normale i overflatelaget. I februar 1998 var temperaturene 5-6 °C i østlige-sørøstlige Nordsjøen som er blant de høyeste som er observert i de siste 100 år. Sommeren (etter juni) 1998 var karakterisert ved kaldt vær og lite sol. Mens overflatetemperaturene den varme sommeren 1997 lå 3-4 °C over normalen i sørlige og østlige deler av Nordsjøen, med maksimaltemperaturer

rundt 22 °C i juli og august, lå temperaturene stort sett noe under normalen sommeren og høsten 1998.

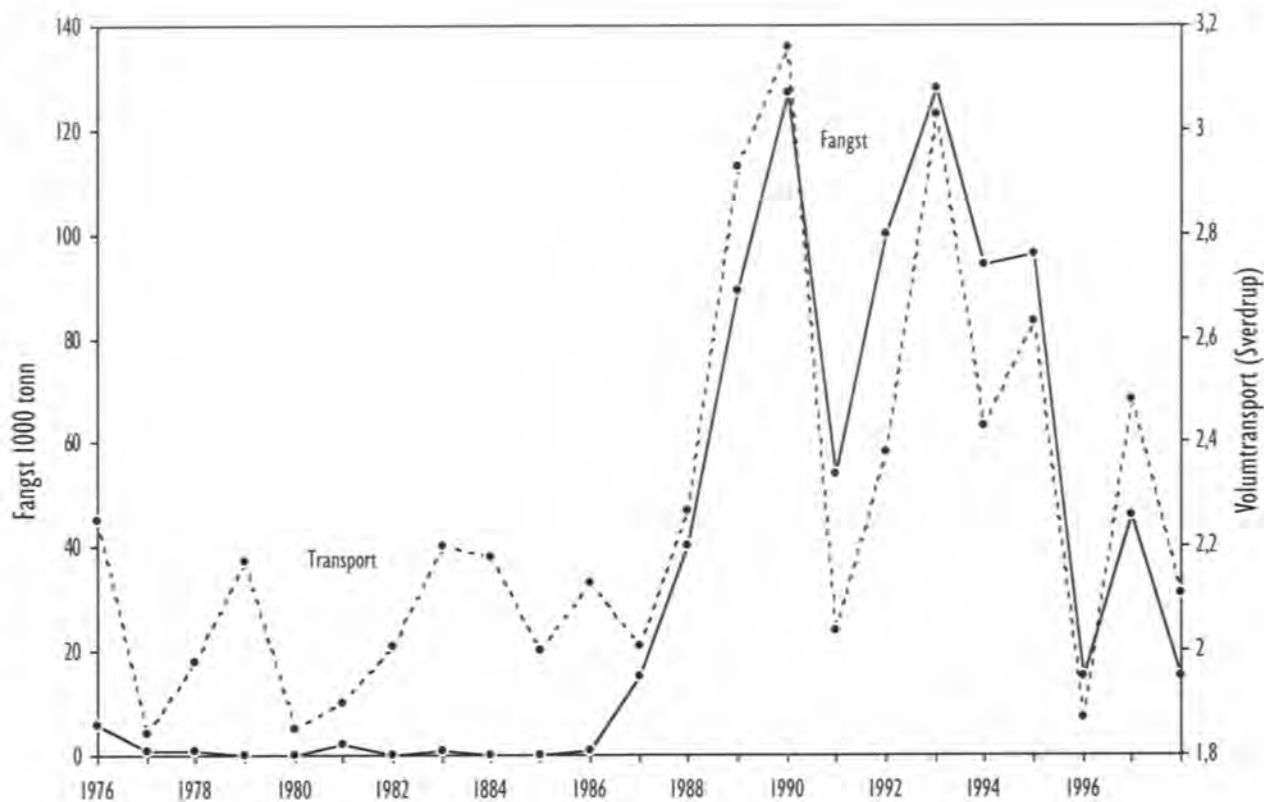
Figur 3.2 A viser tidsserier av sommermålinger av saltholdighet og temperatur nær bunnen i nordlige Nordsjøen (posisjon A - se figur 3.1). Målingene er antatt å representere årets "vintervann" i den vestlige grenen av innstrømmende Atlanterhavsvann, som i løpet av vinteren er innblandet med litt ferskere overflatevann på Nordsjøplatået. Figur 3.2 B viser tilsvarende målinger fra en stasjon på vestskråningen av Norskerenna, i kjernen av innstrømmende atlantisk vann fra Norskehavet til Nordsjøen-Skagerrak (posisjon B - se figur 3.1). Temperatur og saltholdighet er i middel henholdsvis 1-2 °C og ca 0.1 lavere over Nordsjøplatået i forhold til i det innstrømmende atlantiske vannet i Norskerenna.



**Figur 3.2**

Temperatur og saltholdighet nær bunn i nordvestlige del av Nordsjøen (posisjon **A**), og i kjernen av atlantisk vann i vestskråningen av Norskerenna (posisjon **B**) om sommeren i årene 1970 -1998. For lokalisering av posisjonene **A** og **B**, se figur 3.1.

*(Temperature and salinity near bottom in the northwestern part of the North Sea (A), and in the core of Atlantic Water (B) at the western shelf edge of the Norwegian Trench during summers of 1970-1998. Location of A and B in figure 3.1).*



**Figur 3.3** Tidsserier for perioden 1976 - 1998 for modellert total vanntransport (midlet for første kvartal, bestående hovedsaklig av atlantisk vann) sørover i Nordsjøen gjennom et snitt fra Utsira til Orkenøyene, og fangst av hestemakrell etterfølgende høst i Nordsjøen.  
*Modelled transport of Atlantic water into the North Sea between Utsira and Orkney Islands and capture of Horse mackerel.*

I perioden 1988 til 1992 hadde Nordsjøen et uvanlig mildt klima og vintrene 1989 og 1990 var sannsynligvis de varmeste i de siste 130 år, mens 1942 og 1977-79 var de kaldeste. Etter 1992/93 sank temperaturen og i 1994 lå både saltholdighet og temperatur under det normale i nordlige Nordsjøen. Dette var delvis et resultat av redusert innstrømning av atlantisk vann høsten 1993 og økt lokal avkjøling. I 1995 snudde den synkende tendensen i temperatur og saltholdighet i samsvar med økt innstrømning av atlantisk vann i siste halvår av 1994 og i første del av 1995. I 1996 var det igjen en forbigående nedgang i saltholdighet og temperatur over Nordsjøplataet, knyttet til redusert innstrømning av atlantisk vann i begynnelsen av året. Tendensen til økt saltholdighet og temperatur over Nordsjøplataet og i Norskerenna fortsatte imidlertid både i 1997 og 1998.

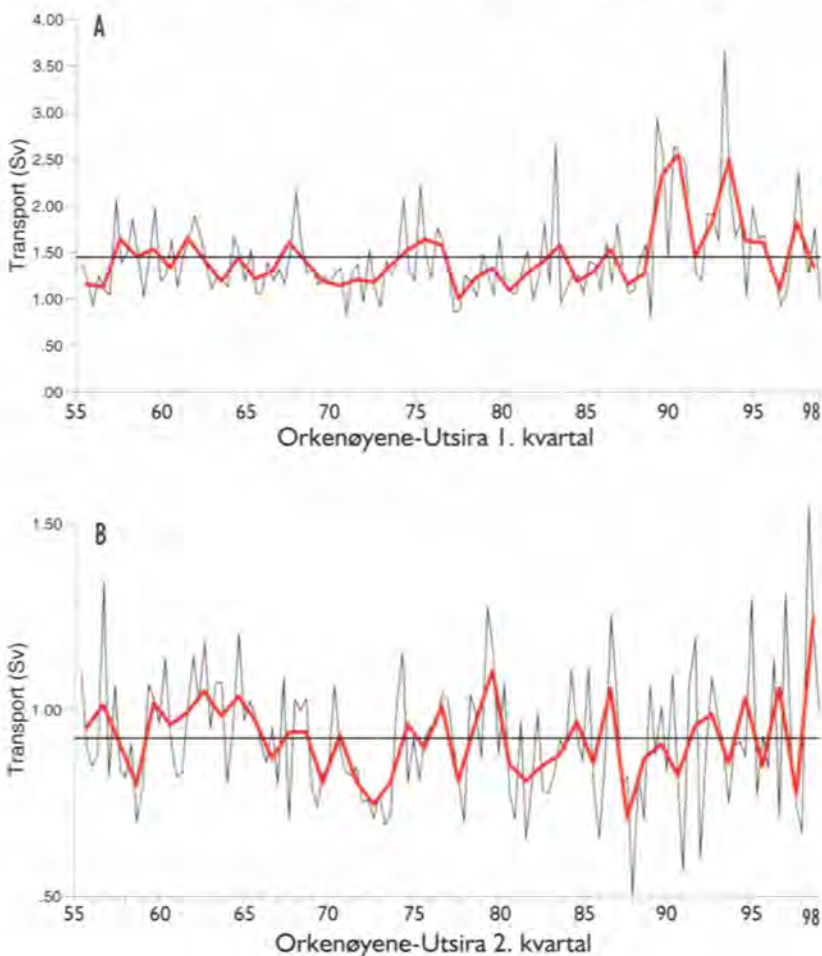
Beregnet innstrømning av atlantisk vann til Nordsjøen om vinteren (første kvartal) har vist

seg å ha stor sammenheng med fangst av hestemakrell den etterfølgende høst i Nordsjøen. Normal eller svak vinterinnstrømning av atlantisk vann førte til dårlig fiske i perioden fra 1976 til 1987 og i de to årene 1991 og 1996. Øvrige år med relativt sterk innstrømning av atlantisk vann samsvarte med godt fiske av hestemakrell. Ut fra beregnet innstrømning av atlantisk vann til Nordsjøen vinteren 1997 var prognosen en fangst i størrelsesorden 65.000 tonn hestemakrell høsten 1997 (figur 3.3). Den totale fangst av hestemakrell høsten 1997 ble omlag 45.000 tonn. Prognosen for fangsten i 1998 viste en forventet reduksjon på rundt 35.000 tonn i forhold til 1997, mens den virkelige reduksjon ble ca 30.000 tonn. Dette må anses for en meget god halvårsprognose for den vestlige hestemakrellens fangstbarhet i Nordsjøen. Imidlertid må vi regne med at sammenhengen mellom innstrømning av atlantisk vann og fangstbarhet av hestemakrell vil bryte sammen dersom bestanden av eldre fisk (> 5 år) kommer under et visst nivå. En ny prognose for

fangst av hestmakrell blir utarbeidet våren 1999.

I 1998 lå modellert innstrømning av atlantisk vann til nordlige og sentrale Nordsjøen i første og andre kvartal nær eller noe over det normale, varierende mellom 1,0 og 1,7 Sverdrup (1 SV =

$10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) (figur 3.4). Mens innstrømningen var tilnærmet normal i nord, var det i første halvår 1998 forholdsvis stor innstrømning av atlantisk vann til Nordsjøen gjennom Den engelske kanal. Dette resulterte bla i en uvanlig stor nordøstlig vanntransport i sørlige Nordsjøen og langs



**Figur 3.4**

Tidsserier (1955 - 1998) av modellert transport (A første og B andre kvartal) av atlantisk vann til den nordlige - sentrale Nordsjøen sørover mellom Orkenøyene og Utsira. (Tynne streker viser de enkelte månedsmidlene i kvartalet, 1 SV = 1 mill  $\text{m}^3$  per sekund).

*Time series (1955-1998) of modelled volume transport (averaged for the first (a) and second quarter (b) of the year) of Atlantic water into the northern/central North Sea southward between the Orkney Islands and Utsira Norway. (Thin lines show the individual monthly means in the quarter, 1 SV =  $10 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ).*

vestkysten av Jylland i april måned. En statistisk analyse for Nordsjøild i perioden 1951-1998 mellom vindforholdene i gytesesongen om høsten, gytebestands biomasse og rekrutteringsindekser (VPA) for 0-ringere viser at rekrutteringen i 1999 vil være 60 milliarder individer (med en usikkerhet på 16 milliarder), som er litt høyere enn gjennomsnittet for perioden.

### Skagerrak og vestkysten av Danmark

Vannmassene i Skagerrak består av tre hovedvannmasser:

- Skagerrak-kystvann som har saltholdigheter mellom 25.0 og 32.0 ‰ og temperaturer mel-

lom 0 °C og 20 °C.

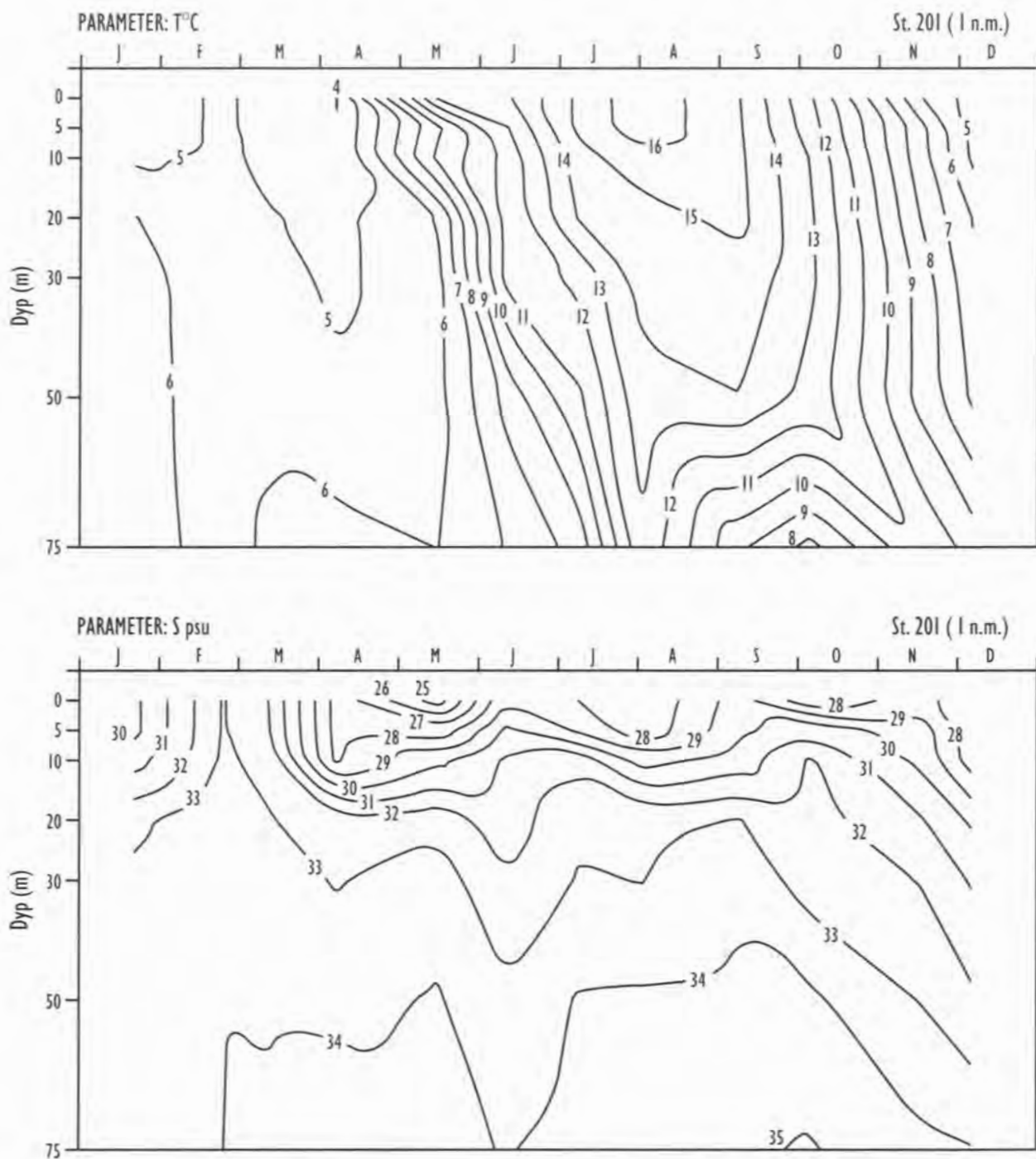
- Skagerrakvann med saltholdighet mellom 32.0 og 35.0 ‰ og temperaturer vanligvis mellom 3 °C og 16 °C.

- Atlantisk vann med saltholdighet over 35.0 ‰ og temperaturer mellom 5.5 °C og 7.5 °C.

I tillegg er vann med saltholdighet mindre enn 25.0 ‰ definert som brakkevann med opprinnelse i lokal avrenning og innstrømning fra Kattegat-Østersjøen.

Skagerrak-kystvann er hovedsakelig en blanding mellom vann fra Kattegat/Østersjøen, lokalt ellevann og vann fra sørlige og tildels den sentrale Nordsjøen. Skagerrakvann har et større inn-



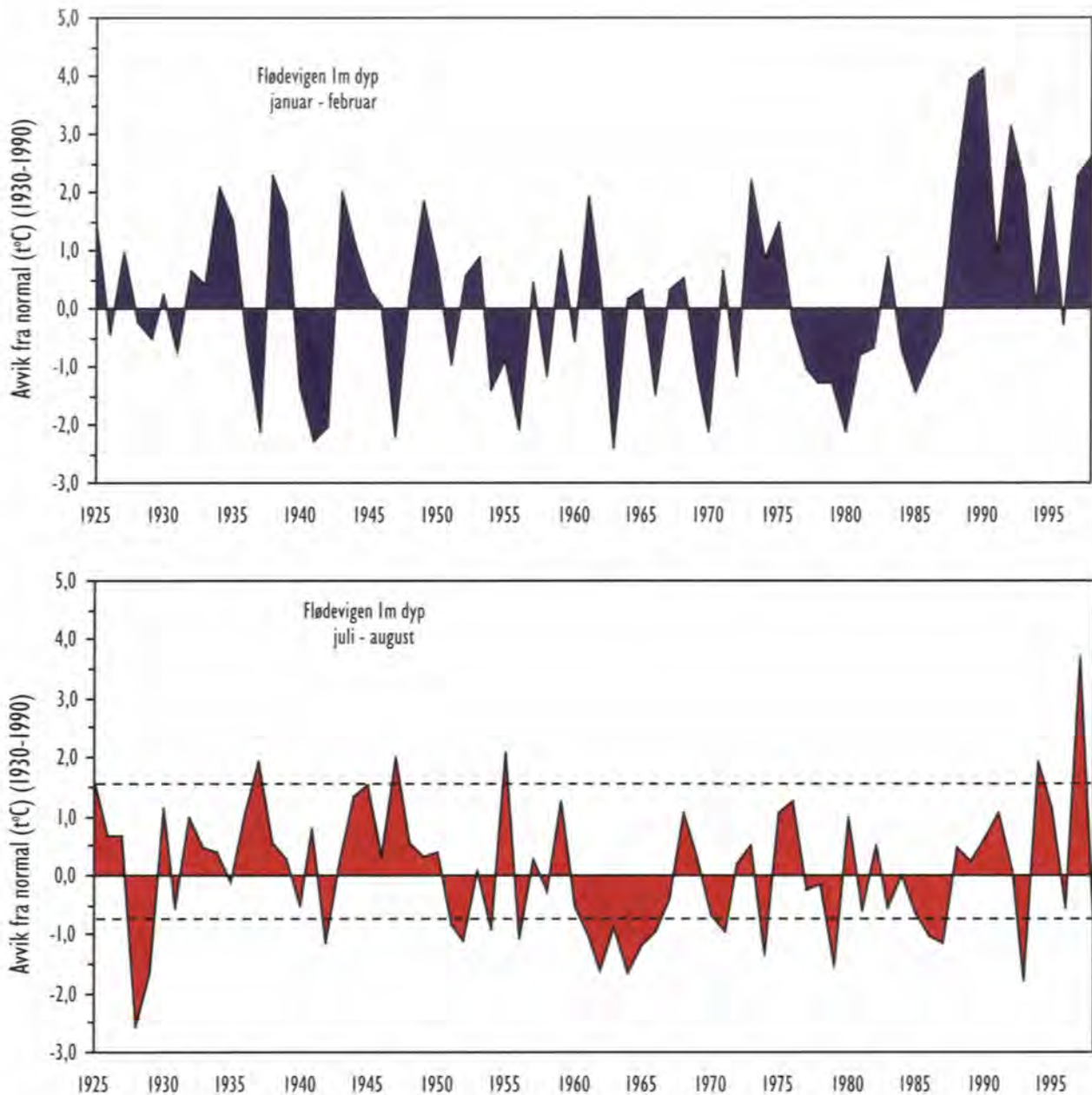


**Figur 3.5** Temperatur (T) og saltholdighet (S) i 1998 i de øverste 75 meter, ca 1 n.m. utenfor Torungen fyr ved Arendal.  
*Temperature and salinity in 1998 in the upper 75 meters at station 1 n.m. outside Torungen lighthouse near Arendal.*

slag av innstrømmende vannmasser fra den sentrale Nordsjøen. Atlantisk vann tilføres Skagerrak fra Norskehavet via den nordlige Nordsjøen og lagrer seg inn under det lettere Skagerrakvannet (figur 3.1).

Gjennom året varierte tykkelsen av Skagerrak-kystvann (figur 3.5) mellom 10 og 20 meter,

bortsett fra på slutten av året hvor det ble atskillig tykkere og gikk ned til 40 til 50 meter. På ettervinteren i februar - mars var det som vanlig helt fraværende pga. liten avrenning og tilførsel fra Kattegat og Østersjøen. Nedre grense for Skagerrakvann lå dypere enn 75 meter gjennom hele året, bortsett fra i september/oktober hvor det hevet seg noe pga. økt innstrømming av at-

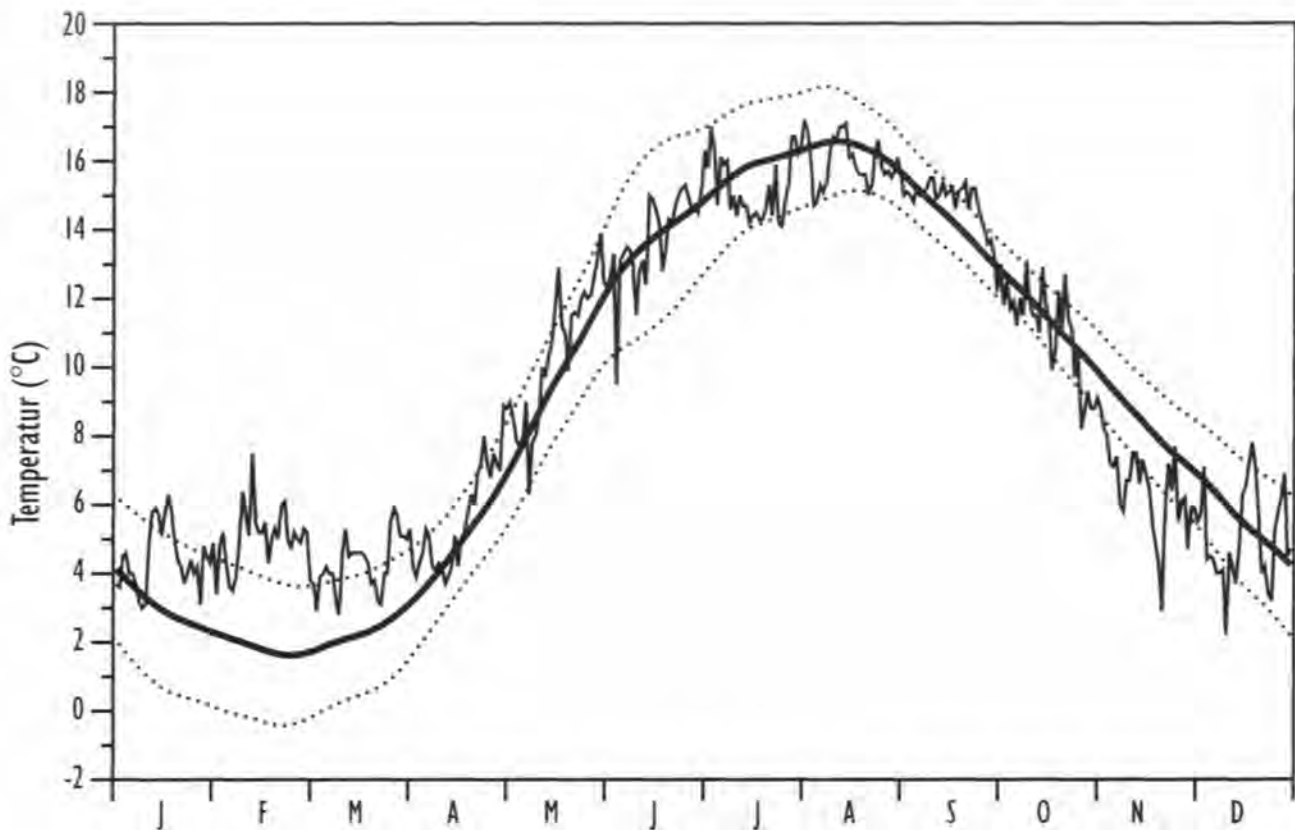


**Figur 3.6** Avvik fra midlere vintertemperatur (februar-mars) og sommertemperatur (juni-august) i 1 meters dyp ved HI Forskningsstasjonen Flødevigen, Arendal 1925-1998.  
*Winter and summer temperature anomalies in the surface layer at the Flødevigen Marine Research Station from 1925 - 1998.*

lantisk vann til Skagerrak. Tilførselene av atlantisk vann over 75 meter dyp resulterte i en fornyelse av bunnvannmassene og forbedrete oksygenforhold i en del av terskelfjordene på Skagerrakkysten, som f.eks Ytre Oslofjord.

Ved forskningsstasjonen i Flødevigen har det vært utført daglige målinger av temperatur i overflatelaget siden 1924. Selv om de årlige variasjonene og avvikene i temperatur er større i overflatelaget ved Flødevigen enn i åpne kystområder utenfor, er de klimatiske variasjonene

representative for øvre vannlag i Skagerrak. Figur 3.6 viser at etter 1988 har det vært en rekke varme vintre i Skagerrak, med et ekstremt maksimum i 1990, hvor vintertemperaturen (februar - mars) lå hele 4 °C over normalen. Perioden 1988-1994 var også den varmeste siden målingene startet i 1924. Etter en tilnærmet normal vinter i 1996 har det i de to siste årene (1997 og 1998) igjen vært relativt varmt i Skagerrak med temperaturer ca 2.4 °C over normalen for årstiden. Etter en ekstremt varm sommer i 1997, den varmeste siden målingene startet i 1924, var som-



**Figur 3.7** Daglige temperaturobservasjoner på 1 meters dyp i 1998 ved Forskningsstasjonen Flødevigen. Den tykke linjen viser glattet middeltemperatur i 1 meters dyp sammen med standardavviket (tynne linjer) for 30-årsperioden 1961-1990 samme sted.  
*Daily temperature observations at 1 m depth in 1998 at the Flødevigen Marine Research Station. The bold curve shows the smoothed mean temperature at 1 m depth together with the standard deviation for the 30-year period 1961-1990.*

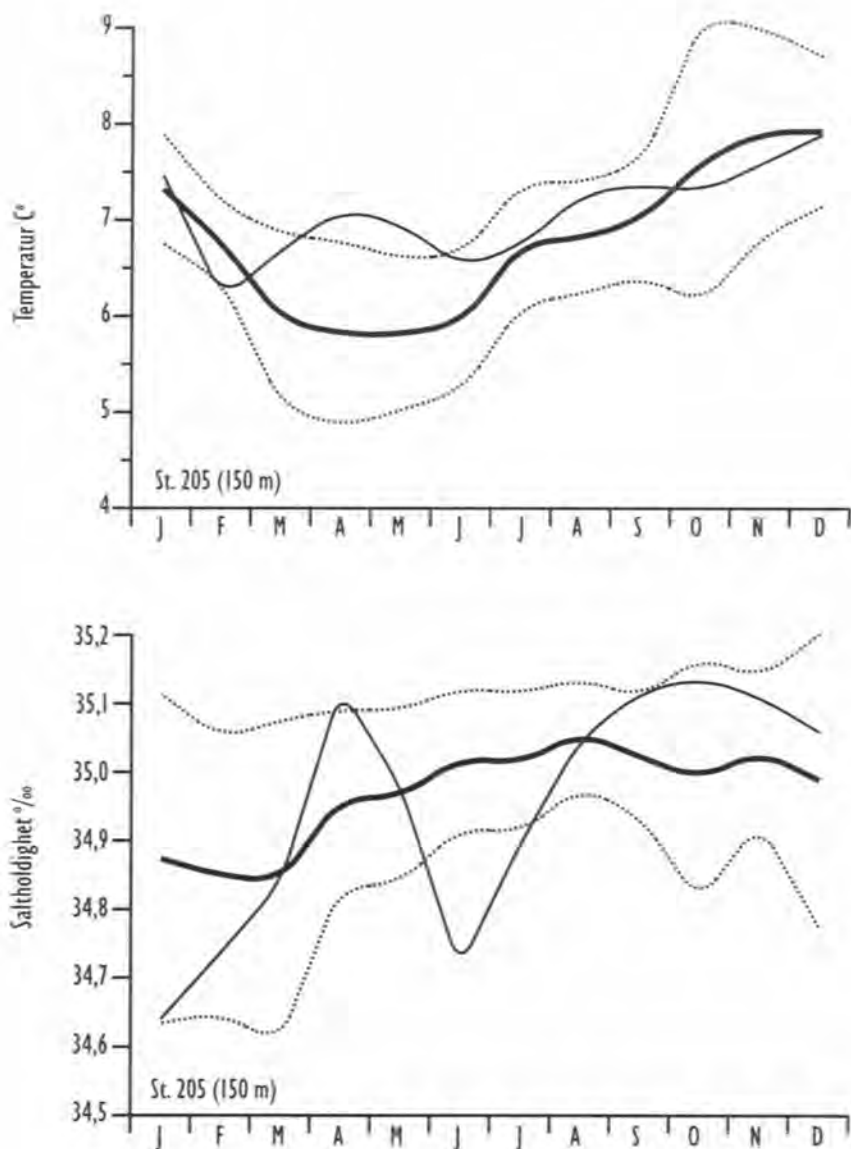
meren 1998 litt kaldere enn normalen. Utover høsten frem til slutten av oktober 1998 lå temperaturen omkring det normale, mens det i november og første del av desember var en kald periode for deretter å normalisere seg på slutten av året (figur 3.7).

I 150 meters dyp langs Skagerrakkysten var det en innstrømning av atlantisk vann fra Nordsjøen på våren med temperaturer over det normale for årstiden (figur 3.8). En uvanlig stor innstrømning av atlantisk vann til Skagerrak fant sted om høsten, og atlantisk vann ble da registrert helt oppe i overflatelaget nord av Jylland. Temperaturen i disse vannmassene lå imidlertid omkring normalen for årstiden. Innstrømningen av atlantisk vann høsten 1998 resulterte som tidligere nevnt i utskiftning av bunnvannmassene i mange av fjordene langs Skagerrakkysten, bla. i ytre Oslofjord. Dette er en unormal årstid for utskiftning av bunnvannsmasser, og det resulterte i uvan-

lig høye sjøtemperaturer i en del fjordbasseng.

Figur 3.9 viser tidsserier av temperatur, saltholdighet, tetthet og oksygen i 600 meters dyp i Skagerrakbassenget (posisjon C - figur 3.1). De senere års observasjoner viser at det fant sted en storstilt utskiftning av vannmassene i Skagerrakbassenget i 1991. Dette inntaff etter en uvanlig lang stagnasjonsperiode, med de laveste oksygenkonsentrasjonene i Skagerrakbassenget som noen gang er observert (ca 4.8 ml/l). Temperaturene i 1990/91, like før innstrømningen, var de høyeste siden målingene startet i 1947. De unormalt høye temperaturene i Skagerrakbassenget holdt seg fram til ca 1994, da innstrømning av kjøligere vann fra Nordsjøplatået medførte et markert temperatur-fall. Etter innstrømning av relativt kaldt og oksygenrikt vann fra Nordsjøplatået vinteren 1996, har temperaturen igjen gradvis økt til ca. 0.8 °C over normalen, mens saltholdigheten har variert lite.



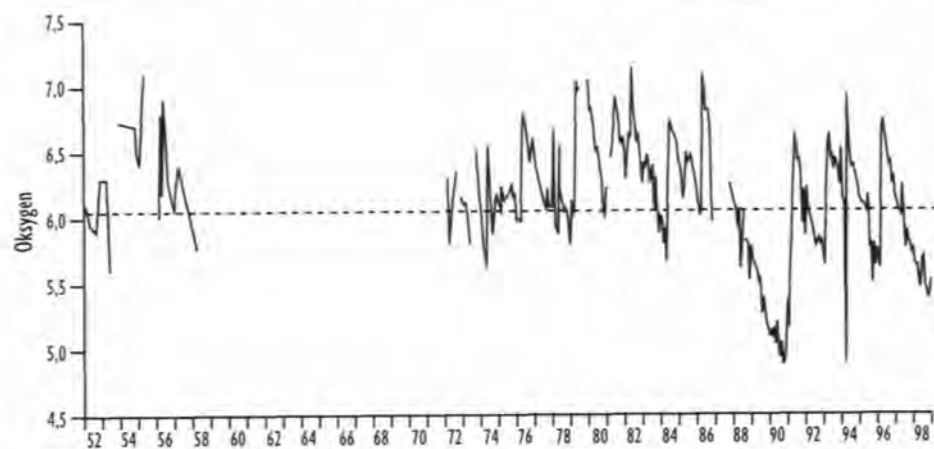
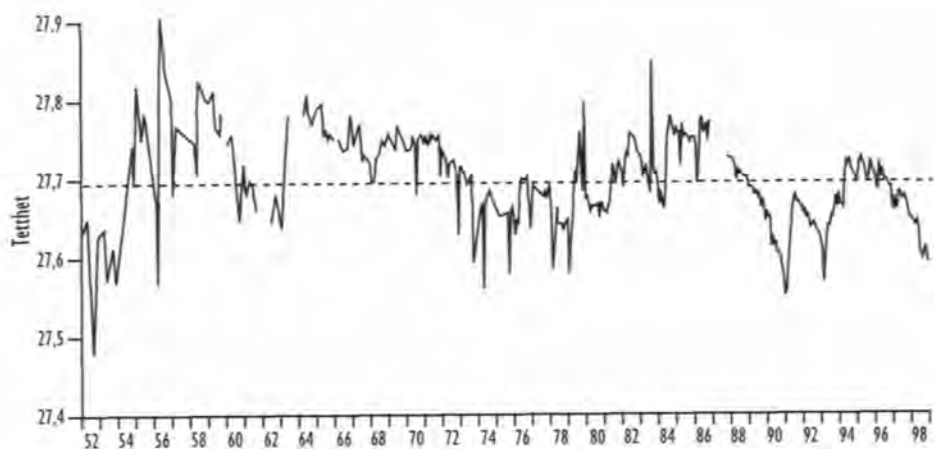
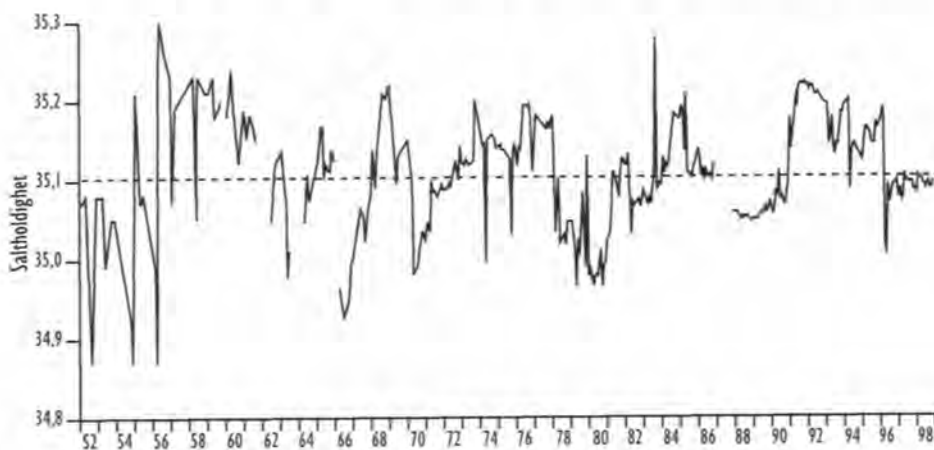
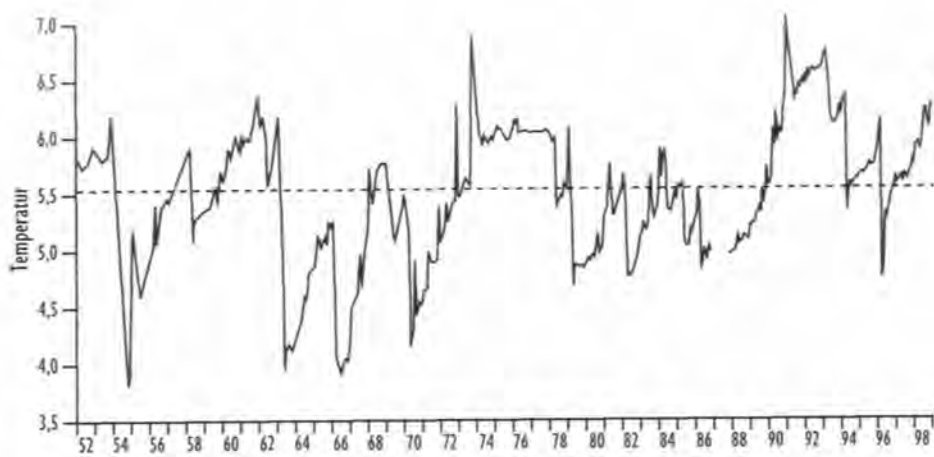


**Figur 3.8** Saltholdighet og temperatur i 150 meters dyp ca 10 km utenfor Torungen fyr ved Arendal i 1998 basert på målinger ca en gang pr. måned (tynn heltrukken linje). Langtidsmiddel (tykk heltrukken linje) og standardavvik (stiplet linje) 1961-1990 .  
*Salinity and temperature at 150 m depth 10 km off Torungen lighthouse close to Arendal in 1998 based on monthly observations (thin solid line). Long term mean (thick solid line) and st.dev. (dotted line) 1961-1990.*

Dette skyldes stagnerende vannmasser med gradvis avtagende oksygenkonsentrasjon. Ettersom det ikke har vært ny innstrømming til dypet av Skagerrak siden 1996, og tettheten er ganske mye redusert, er det stor sannsynlighet for en ny utskifting av Skagerrakbassenget i løpet av 1999-2000.

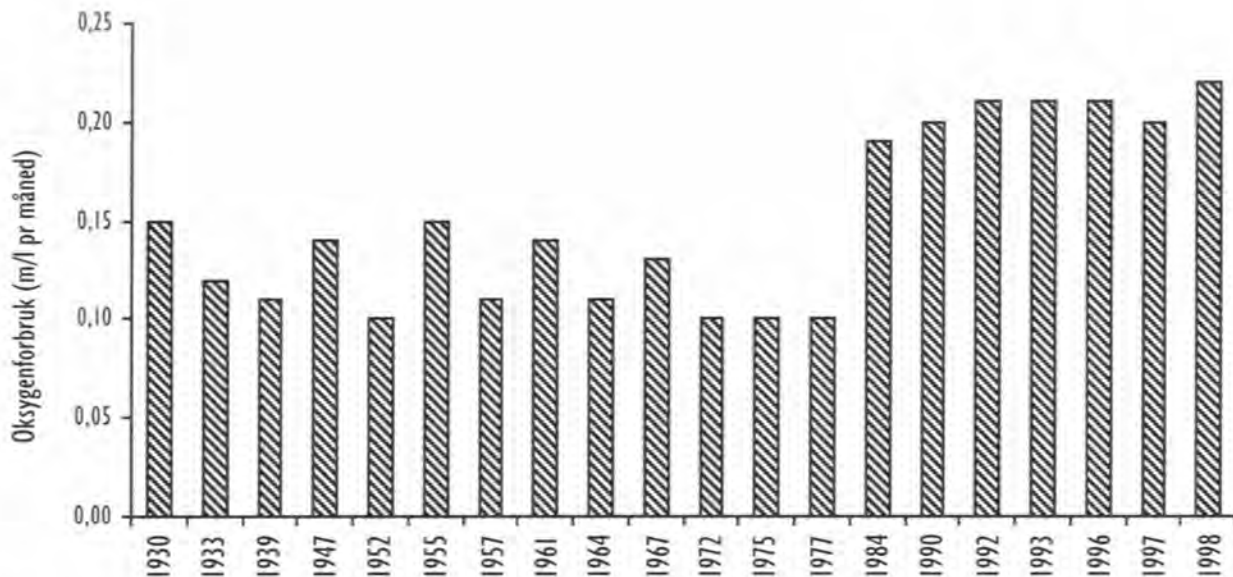
Risørbassenget, med terskeldyp på ca 30 meter, er benyttet som referansebasseng for overvåking av den organiske belastning fra kystvannet på terskelbasseng i indre Skagerrak. Figur 3.10 viser at oksygenforbruket (og den or-

ganiske belastning) i Risørbassenget i 1998 fortsatt lå ca 50 % over midlere oksygenforbruk før ca 1980. Det økte oksygenforbruk i Risørbassenget og andre terskelbasseng i indre Skagerrak er i hovedsak knyttet til økte tilførsler av menneskeskapt næringsalter og organisk materiale fra sørlige Nordsjøen og Kattegat/Østersjøen. Vi vet at den økte organiske belastning har forverret oksygenforholdene i en rekke terskelbasseng langs Sørlandskysten, men vi har fortsatt begrensede kunnskaper om effektene på det marinbiologiske liv i terskelbassengene.



**Figur 3.9**  
 Variasjoner i temperatur, salt- holdighet, tetthet og oksygen i 600 meters dyp i Skagerrak- bassenget, posisjon 58°08'N, 09°11'Ø, for årene 1947-1998.

*Variations in temperature, salinity and oxygen of the bottom water (600 m depth) in Skagerrak for the years 1947-1998.*



**Figur 3.10** Oksygenforbruk i 75 - 100 meters dyp i Risørbassenget fra 1930 til 1998.  
*Oxygen consumption at 75 - 100 m depth in the Risør basin from 1930 to 1998.*

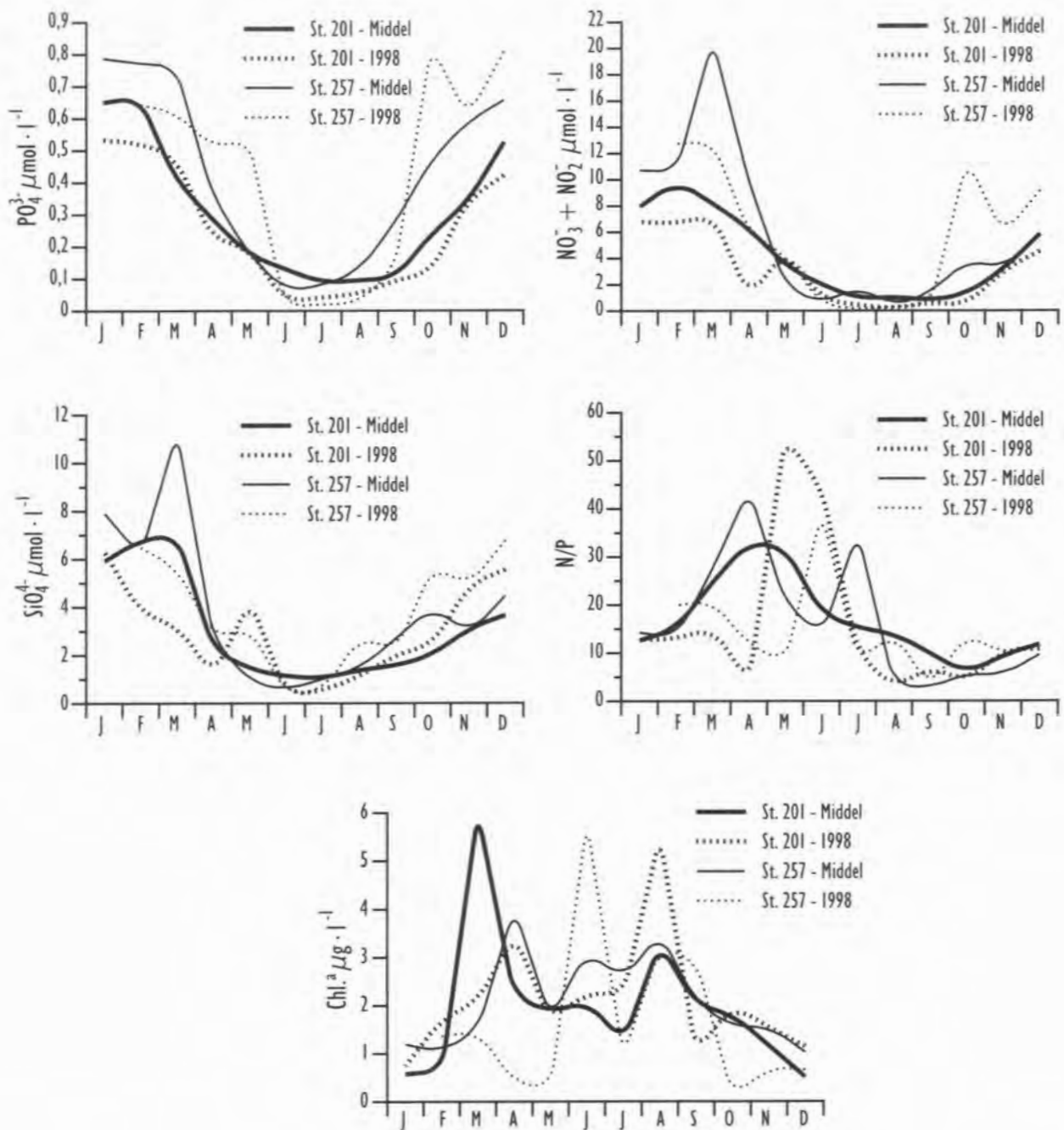
## 3.2 Plankton og næringsalter

### Skagerrak og vestkysten av Danmark

Etter syttiårene har det vært en betydelig økning i tilførslene av menneskeskapt næringsalter, i hovedsak nitrogen, til Skagerrak fra sørlige Nordsjøen og Kattegat. Tilførslene er særlig store i år, med milde vintre og kraftig nedbør over Nord-Europa. Nedbøren i seg selv er nitrogenrik, og mer viktig, det vaskes også mye næringsalter ut fra jordsmonn. Det meste kommer via store elver som Elbe. I milde vintre med mye nedbør er i tillegg den dominerende vindretningen ofte sørlig, og da føres vannmasser fra sørlige Nordsjøen hurtigere og mer direkte inn i Skagerrak. I februar - april 1998 ble det registrert høye nitrogenkonsentrasjoner langs den danske Skagerrakkysten ved Hirtshals (st 257) (figur 3.11) med noe høyere N:P-forhold enn året før. I april var nitratkonsentrasjonene langs den danske vestkysten og i det sørlige og østlige Skagerrak unormalt høye (figur 3.12 a og b). I løpet av de siste ti åra er det bare observert høyere konsentrasjoner i 1994, et år med stor ferskvannsavrenning til sørlige Nordsjøen. Utbredelsen av nitratrikt vann med høyt N:P-for-

hold i april 1998 liknet forholdene i 1990 og 1994. I samme periode ble det også registrert høye klorofyllkonsentrasjoner både langs vest- og nordkysten av Jylland. De unormale miljøforholdene i 1998 dannet bakgrunnen for den store oppblomstring av den skadelige algen *Chattonella* i første del av mai utenfor den danske vestkysten, i Skagerrak og på sørvestlandet opp til Boknfjorden. I tillegg til dødelighet i oppdrettsanlegg (350 - 400 tonn) i Vest-Agder og Rogaland, ble det da også registrert dødelighet på naturlige fiskebestander som tobis, hornkjell, makrell og sild utenfor den danske vestkysten og i Skagerrak. I juni og juli ble det også observert uvanlig lave oksygenkonsentrasjoner (3 - 4 ml/l) på danskysten utenfor Hirtshals i innstrømmende vann fra vestkysten av Jylland. Dette hadde høyst sannsynlig sammenheng med nedbrytningen av store mengder organisk materiale etter den unormalt store algeoppblomstringen i april/mai (se mer om *Chattonella* - blomstringen i kapittelet om skadelige alger).





**Figur 3.11** Månedsmidler for de øvre 30 meter utenfor Torungen fyr ved Arendal (st. 201) og de øvre 25 meter (st. 257) utenfor Hirtshals i 1998 for fosfat, nitrat + nitritt, silikat, forholdet mellom nitrat + nitritt og fosfat (N/P) og klorofyll-a (stiplede linjer). De heltrukne linjene viser langtidsmidlet for perioden 1980-1995 på st. 201; unntatt for silikat, hvor langtidsmidlet er for perioden 1988-1995, og på st. 257 hvor langtidsmidlet er for perioden 1988-1995 for alle parametre.

*Monthly means in the upper 30 m outside Torungen lighthouse near Arendal (st. 201) and the upper 25 m at st. 257 outside Hirtshals in 1998 for phosphate, nitrate+nitrite, silicate, N:P ration and chlorophyll-a (stippled lines). The solid lines show the long term mean for the period 1980-1995 at st. 201 except for silicate where the mean is for the period 1988-1995, and at s. 257 where the long term mean is for the period 1988-1995 for all parameters.*

I 1998 foregikk våroppblomstringen av kiselalger langs svenske- og norskekysten av Skagerrak fra slutten av februar til et par uker inn i april, som er innenfor en helt normal blomstringsperiode. Algebiomassen i form av klorofyll holdt seg moderat, < 5 µg/l, gjennom hele våroppblomstringen (figur 3.13). Det spesielle i 1998 var at mange av de kiselalgene som dominerte våroppblomstringen, *Cerataulina pelagica*, *Guinardia flaccida* og *Proboscia alata*, ikke regnes som vårkiselalger, men heller som sommer- og høstkiselalger. Typiske vårkiselalger, som ulike *Chaetoceros*- og *Thalassiosira*-arter samt *Skeletonema costatum* var ikke så vanlige. Det er nærliggende å gjette på at den varme sommeren og høsten 1997 bidro til at "sommer"-kiselalgene fortsatt var vanlige i januar - februar 1998. Disse forekomstene var tydeligvis konkurransedyktige også om vinteren, og grodde videre, for så å prege våroppblomstringen i mars 1998. Etter våroppblomstringen var det som vanlig lite alger gjennom april. Tidlig i mai utgjorde den skadelige flagellaten, *Chattonella* aff. *verruculos* (les mer om den under kapittelet om skadelige alger) det meste av algebiomassen, før kiselalgene *Pseudo-nitzschia* og *Skeletonema* preget algebiomassen et par uker fra slutten av mai. Forekomsten av kiselalger var mer fremtredende i Oslofjordområdet enn langs kysten av Sørlandet. Mot midten av juli ble den skadelige algen *Gyrodinium aureolum* dominerende (les mer om den i kapittelet om skadelige alger). Dessuten var som vanlig kalkflagellaten, *Emiliania huxleyi*, tallrik om sommeren, men likevel mindre fremtredende enn normalt. Mens algebiomassen i form av klorofyll gjennomgående lå i overkant av det normale gjennom mai, juni og juli, så lå den lavere enn vanlig i det meste av august og september (figur 3.13). Helt i slutten av september og begynnelsen av oktober dominerte igjen *Gyrodinium* algebiomassen langs kysten. Resten av året varierte ikke algebiomassen så mye utenfor det normale, men store dinoflagellater forekom i mengder, i overkant av hva som er vanlig, og de holdt seg relativt tallrike helt til årets slutt.

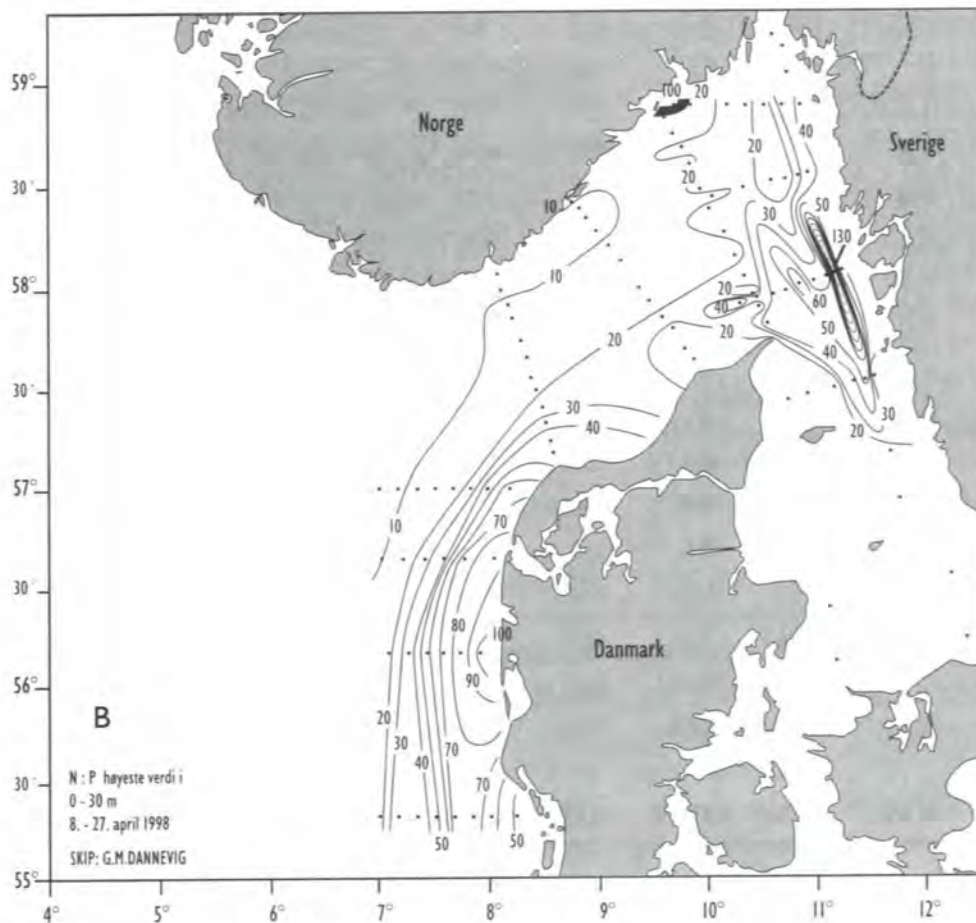
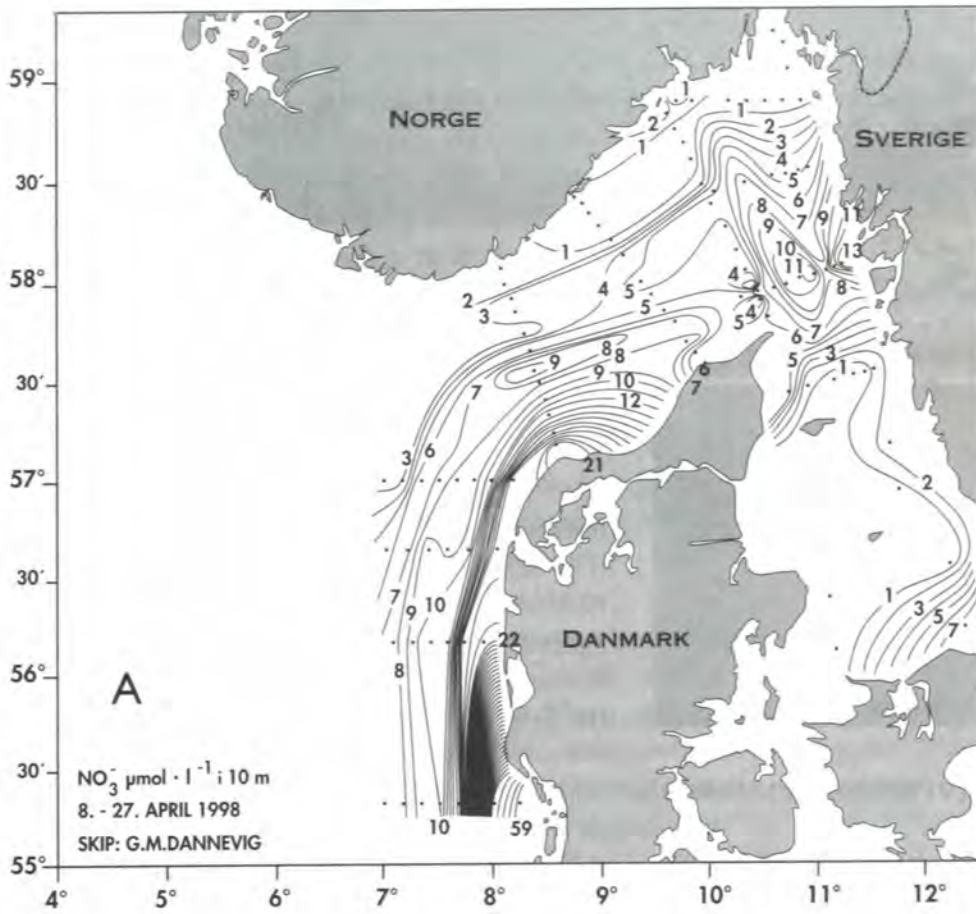
Lokalt langs kysten av Skagerrak kan det i områder som står i begrenset sirkulasjonsmessig kontakt med Skagerrak-kystvann utvikle seg lo-

kale oppblomstringer. I større omfang er det særlig vanlig for deler av Oslofjorden. I Østfolds indre skjærgård, som i stor grad er påvirket av vann fra Glomma, utviklet det seg betydelige bestander av kiselalger fra juni og utover (*Chaetoceros*, *Cyclotella*, *Skeletonema*), og fra august ble dinoflagellaten *Prorocentrum minimum* tallrik og gav tildels brun farve til sjøen. Dette er helt vanlige, nærmest årvisse oppblomstringer i dette området, som trolig stimuleres av påvirkningen fra Glomma.

#### **Alger langs resten av kysten, fra Rogaland og nordover**

For denne delen av kysten startet den regelmessige overvåkingen med ukentlige prøver i første halvdel av mars. Da var våroppblomstringen av kiselalger (*Skeletonema*) i gang i deler av Rogaland og Hordaland, men med noe avtagende mengder nordover. I begynnelsen av april var oppblomstringen godt igang på kysten av Møre og Romsdal, i midten av april i Trøndelag, og mot slutten av april tiltok kiselalgemengden nord for Trøndelag. Litt uti mai var våroppblomstringen også godt i gang i Øst-Finnmark. Langs hele kysten var det vanlige kiselalger som *Chaetoceros*, *Skeletonema* og *Thalassiosira* som preget våroppblomstringen. Bildet i 1998 bekreftet den vanlige utviklingen, med noe forsinket våroppblomstring langs kysten etter hvert som man beveger seg nordover. Tar vi med de enkelte fjordene, så kompliseres bildet, idet kiselalgens våroppblomstring kan starte tidligere inne i en fjord enn ute i øygarden. Dette styres av mer lokale lagdelings- og sirkulasjonsforhold, som blant annet påvirkes av lokal ferskvannstilførsel, og kan variere fra år til år. I Nord-Norge blir fort geléalgen *Phaeocystis* en betydelig del av planktonbildet i tillegg til kiselalgene. Det skjedde også i 1998. Fra midten av april til litt uti mai var *Phaeocystis* vanlig i Troms, og i Finnmark ble den tallrik tidlig i mai og holdt seg til uti juni.

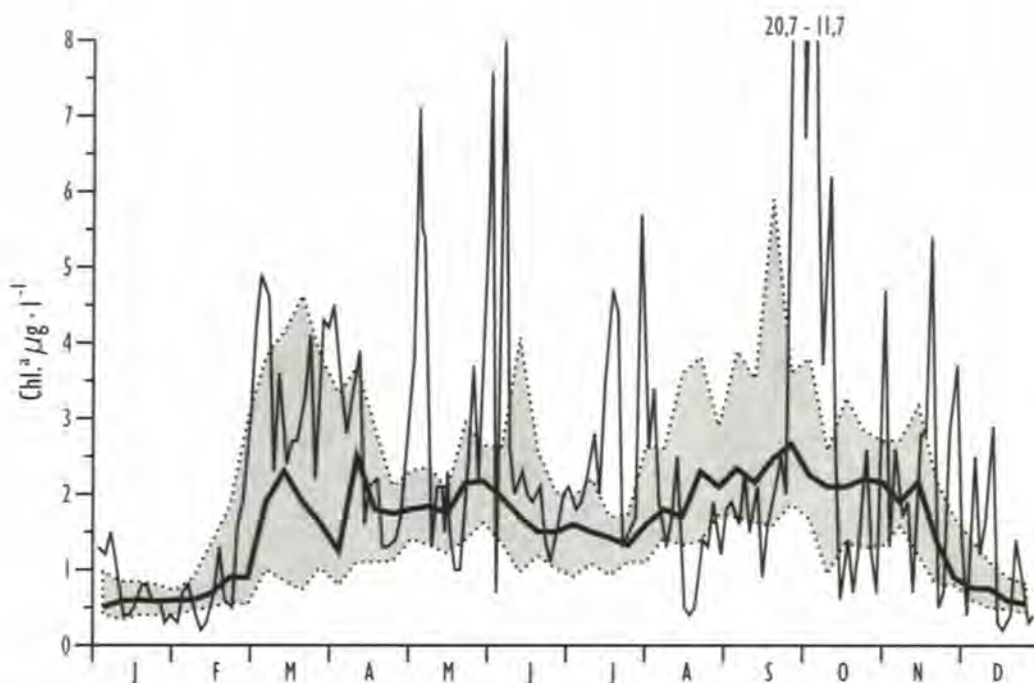
Etter kiselalgens våroppblomstring gikk algemengden tilbake langs store deler av kysten, men i mange fjorder på strekningen Rogaland - Nordland fortsatte kiselalger å dominere gjennom april, mai og juni. Det var en periode med bety-



**Figur 3.12**  
Horizontalfordeling  
nitrat i 10 meters  
dyp (A) og maksimale  
forholdstall  
mellom nitrat og  
fosfat (N/P) i øverste  
30 meter  
(B) i Nordsjøen/  
Skagerrak i april  
1998.

*Horizontal distribution of nitrate in 10 m depth and maximum N:P ratios (upper 30 meters)(B) in the North Sea and Skagerrak in April 1998.*





**Figur 3.13** Klorofyll a i Flødevigen, 0-3 meters dyp. Tynn heltrukken linje er målinger i 1998. Tykk heltrukken linje er medianer (normaler) for hver uke basert på alle data i perioden 1989-97. Stiplede linjer er første og tredje kvartiler (naturlig variasjonsbredde). *Chlorophyll a in the Flødevigen Bay, 0-3 meters depth. The thin curve is data from 1998. The bold curve is medians for every week based on all data for the period 1989-1997. Dotted lines are first and third quartiles.*

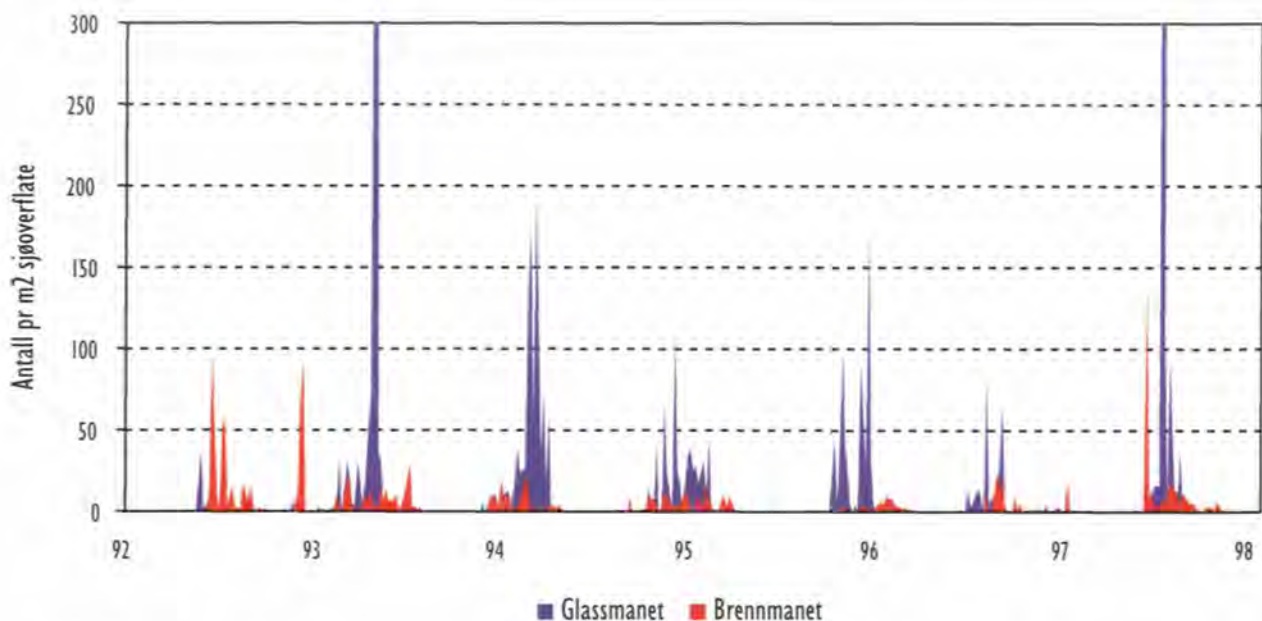
delige lokale forskjeller i planktonbildet. I de ytre deler av Rogaland og Hordaland ble det observert grønne striper i sjøen i april - mai. Det skyldtes helt lokale oppstuvinger av *Halosphaera*, en alge som de senere år har vært vanlig en periode om våren langs kysten av Sørvest-Norge. Fra midten av mai begynte kalkflagellaten *Emiliania huxleyi* å blomstre langs kysten av Vestlandet. Utover i juni økte mengdene, og flere steder gav den en turkis farve til sjøen. Etter hvert tiltok *Emiliania huxleyi* i mengde nordover og blomstret av i sør. Fra tidlig i juli preget den kysten fra Statt og nordover helt til Troms fylke, og i august bredte den seg inn i Finnmark. Parallelt med forekomsten av *Emiliania huxleyi* langs kysten gjennom sommeren så var det mange steder også et varierende, men ofte betydelig innslag av ulike kiselalger (*Chaetoceros*, *Guinardia*, *Leptocylindrus*, *Pseudo-nitzschia*, *Skeletonema*). I deler av juli og august var *Leptocylindrus minimus* tallrik fra Vestlandet til Troms, en art som er rapportert å kunne være plagsom for oppdrettsfisk. Gjennom august avtok i store trekk algemengden fra Rogaland og nordover, selv om noen kiselalger (*Pseudo-nitzschia*, *Skeletonema*) stadig var tallrike i en-

kelte fjorder. Fra juli og ut året bidro store dino-flagellater bare til periodevise lokale blomstringer.

### Maneter

Siden 1992 har det vært daglige registreringer av brennmanet (*Cyanea capillata*) og glassmanet (*Aurelia aurita*) i Flødevigen. Det gjøres på samme tid hver dag, ved at observatøren teller hvor mange maneter som kan ses over en flate på ca 10 x 10 m utenfor kaien. I tillegg noteres ca-størrelse på manetene. Metoden har den åpenbare svakhet at muligheten til å kunne observere ned i vannet varierer meget med lys, planktonforekomst og vind.

På Skagerrakkysten opptrer stormaneter nær sjøoverflaten så å si bare i sommerhalvåret. Forekomst av stormaneter er svært avhengig av vindretning og strøm, og kan derfor variere mye fra dag til dag. I enkelte år har vi også registrert små brennmaneter en kort periode om vinteren. Også godt ut på høsten kan brennmaneter forekomme i korte perioder. Ved fralandsvind kommer gjerne manetene til overflaten. Når det senere blir pålandsvind, kan maneter samles i store



**Figur 3.14** Forekomst av brennmanet (*Cyanea capillata*) og glassmanet (*Aurelia aurita*) i Flødevigen 1992-1998.  
*Occurrence of *Cyanea capillata* and *Aurelia aurita* in the Flødevigen Bay 1992-1998.*  
*Weekly mean.*

tettheter i bukter og fjorder. Glassmanetene kommer gjerne til syne først om sommeren og opptrer ofte i store tettheter til slutten av juli. Større tettheter av brennmaneter viser seg litt senere, men holder seg i overflatevannet desto lenger utover ettersommeren og høsten.

I 1998 ble det registrert forholdsvis flere maneter enn i 1997 (figur 3.14). Glassmanetene kom i første halvdel av mai, men forsvant i første halvdel av juli. I mars ble det et par dager observert veldig

høy konsentrasjon av små brennmaneter. Ellers opptrådte brennmanetene i svært varierende grad og spredt utover hele sommeren til og med september. Materialet fra Flødevigen er ennå ikke analysert mot de hydrografiske forhold. Brennmaneter er organismer knyttet til forholdsvis kaldt vann. Sommeren 1998 var en "dårlig" sommer på Skagerrakkysten, med gjennomgående lave temperaturer ved sjøoverflaten. Dette kan være medvirkende til at tetthetene i 1998 var markert høyere enn i den varme sommeren 1997.

### 3.3 Skadelige alger

For å kunne varsle fiskeoppdrettere og skjelldyrkere om risiko for skadelige planteplanktonforekomster før problemer oppstår, har Havforskningsinstituttet siden 1981 overvåket *Gyrodinium aureolum*, som kan gi brun sjø og fiskedød, og siden 1984 slekten *Dinophysis*, som regnes som årsaken til problemene med diarefremkallende gift i skjell. Etter en stor og dra-

matisk oppblomstring i mai 1988 av *Chrysochromulina polylepis*, som forårsaket dødelighet blant en lang rekke organismer langs kysten, kom også *Chrysochromulina*-slekten med i overvåkningsprogrammet. De siste årene har vi registrert også forekomsten av algeslekten *Alexandrium*. *Alexandrium*-celler kan inneholde farlige, lammende (paralyserende) gifter og de-



res forekomst brukes til å vurdere risiko for giftoppblomning i skjell.

Resultatene av overvåkingen har etter hvert fått interesse ut over den kortsiktige varsling, både innen forvaltning og forskning. Man spør seg om oppblomstringer av skadelige alger skjer hyppigere enn tidligere, og om slike oppblomstringer i noen grad kan skyldes påvirkninger av menneskets aktiviteter. En systematisk overvåking, som går over tid, vil kunne belyse slike spørsmål. Erfaringsmessig har de fleste større, skadelige algeoppblomstringer startet i Skagerrak, for så å bli spredd med kyststrømmen. En overvåking i Skagerrak, hvor kyststrømmen starter, har derfor gitt et grunnlag for også å si noe om mulig opptreden av disse algene på Sørvest- og Vestlandet.

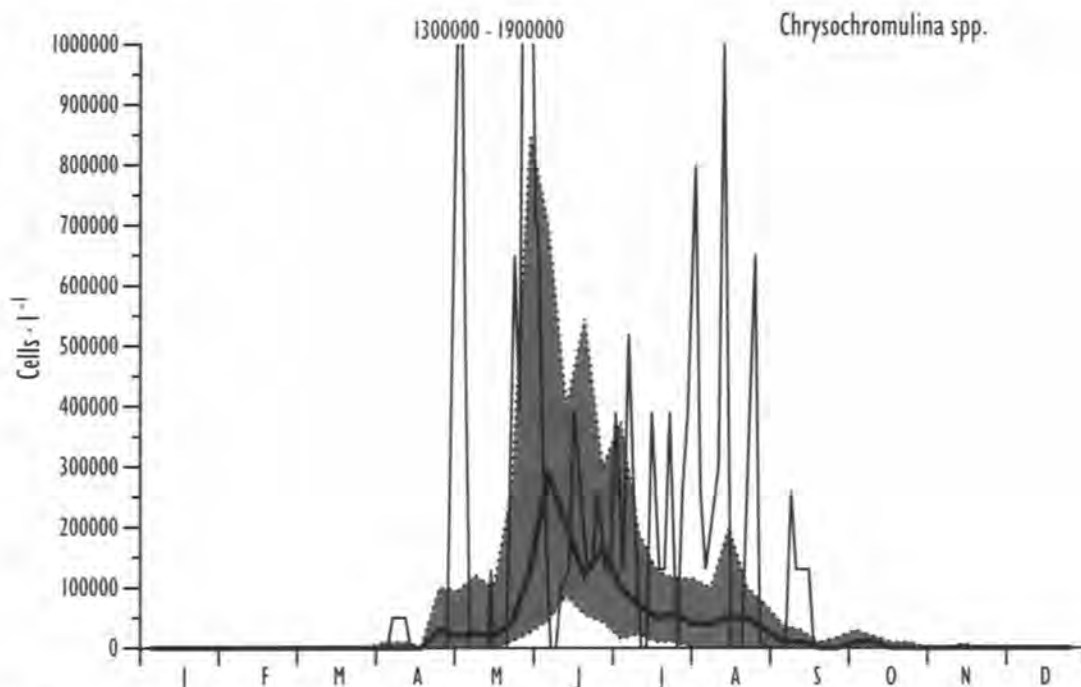
I dag bygger overvåkningsprogrammet i regi av Havforskningsinstituttet på følgende prøvesett: 1) vannprøver i et snitt på tvers av Skagerrak ca hver måned, 2) vannprøver (0-3 meters dyp) annen hver dag fra Flødevigen og 3) eventuelt

ekstraprøver i perioder med økt risiko for oppblomstring av skadelige alger.

Etter oppblomstringen av *Chrysochromulina polylepis* i 1988 økte etter hvert den nasjonale innsatsen på algeovervåking. I 1998 var foruten Havforskningsinstituttet også Fiskeridirektoratet/Fiskerisjefen for Skagerrak, OCEANOR, NIVA, Veterinærhøgskolen, Næringsmiddelkontrollen i Midt-Rogaland og Statens Næringsmiddeltilsyn (SNT) involvert i en integrert algeovervåking. I 1998 foregikk denne overvåkingen ukentlig på minst 27 stasjoner fra svenskegrensen til Finnmark fra slutten av mars til uti oktober. Resultatene ble brukt til å lage en ukentlig «Algeinfo», som i regi av Havforskningsinstituttet blir lagt ut på Internet med adresse: <http://www.efan.no/alger/alg.htm>.

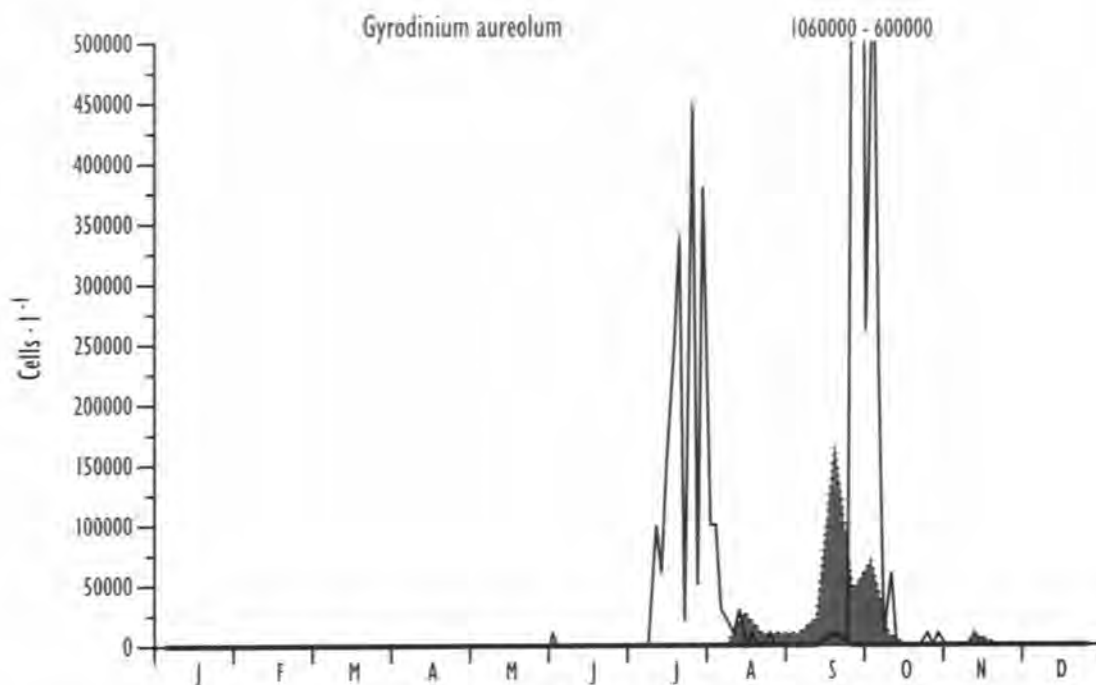
### Skadelige alger i Skagerrak

I 1998 ble problemene på grunn av skadelige alger større enn vanlig, både med hensyn til alger som kan ta livet av oppdrettsfisk og giftalger



**Figur 3.15** *Chrysochromulina* spp. i Flødevigen, 0-3 m dyp. Tynn heltrukken linje er målinger i 1998. Tykk heltrukken linje er medianer (normaler) for hver uke basert på alle data i perioden 1989-1997. Stiplede linjer er første og tredje kvartiler (naturlig variasjonsbredde). *Chrysochromulina* spp. in the Flødevigen Bay, 0-3 m depth. The thin curve is data from 1998. The bold curve is medians for every week based on all data for the period 1989-97. Dotted lines are first and third quartiles.





**Figur 3.16** *Gyrodinium aureolum* i Flødevigen, 0-3 m dyp. Tynn heltrukken linje er målinger i 1998. Tykk heltrukken linje er medianer (normaler) for hver uke basert på alle data i perioden 1989-97. Stiplede linjer er første og tredje kvartiler (naturlig variasjonsbredde). *Gyrodinium aureolum* in the Flødevigen Bay, 0-3 m depth. The thin curve is data from 1998, The bold curve is medians for every week based on all data for the period 1989-97. Dotted lines are first and third quartiles.

som kan hoppe opp i skjell. Helt i begynnelsen av mai forårsaket flagellaten *Chattonella* aff. *verruculosa*, muligens i kombinasjon med en slektning, *Heterosigma akashiwo*, fiskedød i oppdrettsanlegg i Farsunds- og Flekkefjordområdet i Vest-Agder fylke. Det var hovedsakelig stor laks som omkom, til sammen ca 350 tonn.

Det var første gang denne *Chattonella*-algen ble registrert i Europa og også første gang den opptrådte i masseforekomster og forårsaket fiskedød. Men nærstående slektninger er tidligere knyttet til fiskedød, særlig i Japan. Det er vist at representanter for den algeklassen *Chattonella* tilhører, Raphidophyceae, kan inneholde gifter, men det er lite trolig at *C. aff. verruculosa* var særlig giftig i mai. Hverken danske eller norske eksperter påviste giftstoffer. Medlemmer i algeklassen Raphidophyceae inneholder mange slimlegemer. I mikroskop kunne vi observere at levende *Chattonella*-celler plutselig, nærmest eksploderte og kastet ut lange tråder av slim. Det kan ha vært en kombinasjon av slimdannelse og høye algetall som førte til blokkering av fiske-

gjellene, slik at fisken ikke kunne ta opp oksygen og ble kvalt.

Vi har følgende bilde av oppblomstringens forløp. Masseforekomster av *Chattonella* utviklet seg først i Skagerrak, nord for Skagen i siste halvdel av april. Derfra spredte algen seg til vestkysten av Sverige hvor den holdt seg noe under selve overflaten, og til kysten av Sørlandet hvor den først slo inn på kysten i Farsund-Flekkefjordområdet. Det er mulig at den ble transportert, litt under overflatelaget og et stykke fra kysten, fra nord- og vest Jylland gjennom Skagerrak til Farsundområdet. I Flødevigen ble *C. aff. verruculosa* observert første gang den 4. mai ( $0,5 \times 10^6$  celler/l). To dager senere var konsentrasjonen ca 3 millioner celler/l. Mellom 8. og 9. mai var det langs kysten av Skagerrak en oppveiling, som førte overflatelaget med alger ut fra land, og etterpå vendte *Chattonella* ikke tilbake i betydelige mengder. Etter den akutte fasen med fiskedød i Vest-Agder, 2. - 3. mai, spredte *Chattonella* seg flakvis nordover, og 8. mai var det flekkvise massekomster syd i Ry-

fylke, men deretter forsvant algen også derfra. Det var ingen betydelig fiskedød i Ryfylket. Etter at *Chattonella* var avblomstret nord og øst i Skagerrak ble det observert masseforekomster langs vest- og nordkysten av Jylland, i hovedsak fra Jammerbukta og sydover til Esbjerg. Her døde en del villfisk som horn gjel, sild og tobis. På dette tidspunkt var det utgående strøm fra Skagerrak langs kysten av nord-Jylland som blokkerte for ny innstrømming av *Chattonella*. Omkring 20. mai døde blomstringen av *Chattonella* ut, trolig som følge av næringssaltmangel. Syd for Limfjorden, lang vestkysten av Jylland, var også en annen skadelig alge til stede, en skjelettløs form av silicoflagellaten *Dictyocha speculum*.

Masseforekomsten av *Chattonella* i Skagerrak og langs vestkysten av Jylland i 1998 var knyttet til vann med unormalt høyt nitratinnhold og næringssaltsammensetning (se foran), og det er trolig de store menneskeskapte tilførselene av nitrat fra sydlige Nordsjøen som har stimulert oppblomstringen.

*Chattonella* forekom i den perioden en annen alge, som kan true fisk, *Chrysochromulina*, har sin sesong. I 1998 var sistnevnte som vanlig tilstede, men ikke utover det som er normalt (figur 3.15). Mer tallrik i 1998 enn vanlig var imidlertid *Gyrodinium aureolum*, som også har forårsaket fiskedød. I to perioder, i juli - august og igjen i september - oktober, ble den noen dager registrert i relativt store mengder i Flødevigen og Skagerrak (figur 3.16). Men vi er ikke kjent med at den skapte noen problemer av betydning.

Både *Alexandrium* og *Dinophysis* forekom relativt tallrikt i 1998. *Alexandrium* dukket som vanlig opp i mai, og i slike mengder at skjell i Aust- og Vest-Agder fikk i seg paralytiske gifter over faregrensen for en periode. Giften forsvant imidlertid i løpet av noen uker, og fra slutten av juni var det lite problemer med algegifter i skjell frem til slutten av september. Da ble *Dinophysis acuta* mer tallrik enn vanlig (figur 3.17) og skjellene fikk i seg diarégivende gift over faregrensen. Forekomsten av *D. acuta* og *D. acuminata* holdt seg relativt godt utover høsten og skjellene forble litt giftige ut året.

## Skadelige alger langs resten av kysten

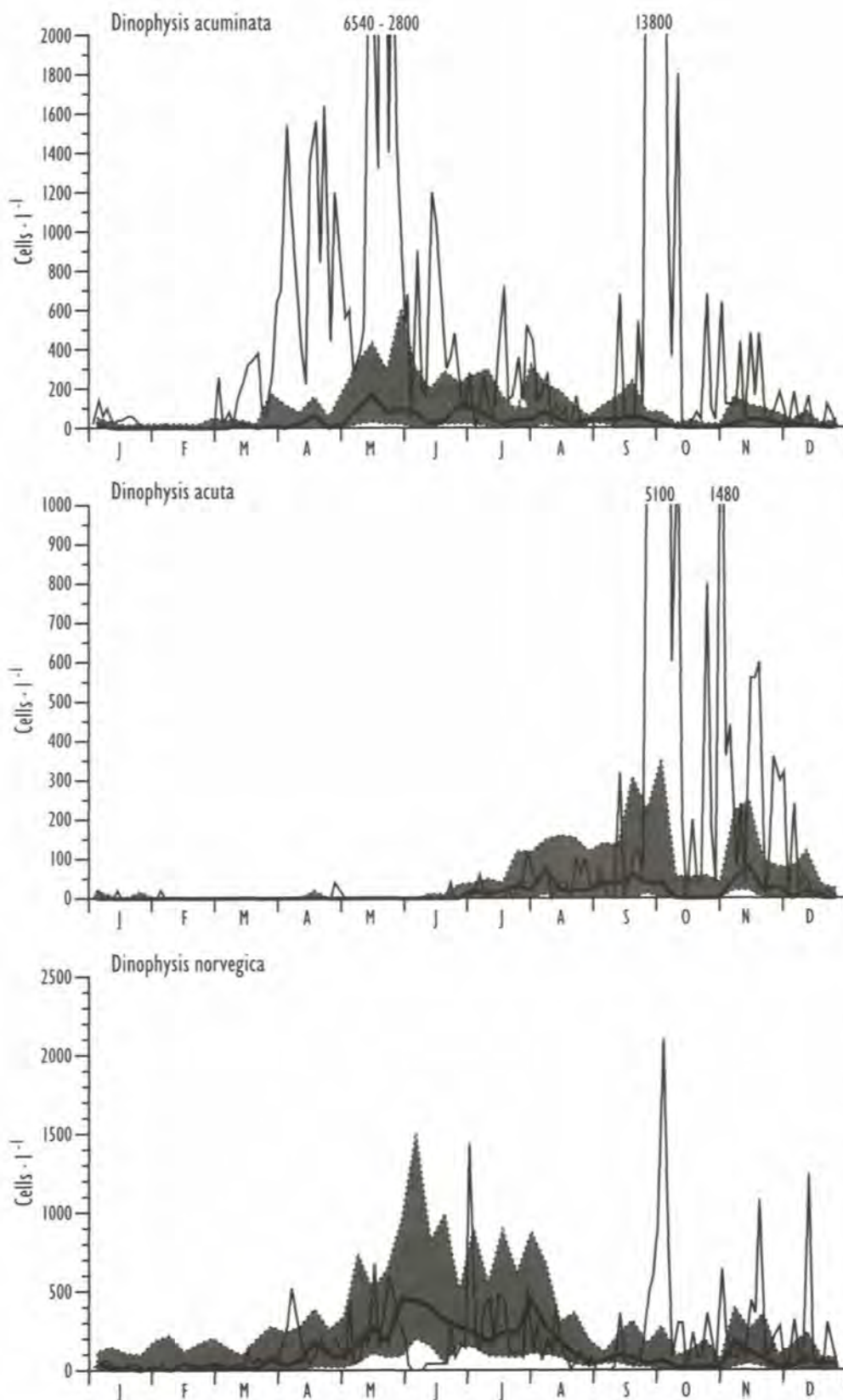
Langs kysten, fra Rogaland og nordover, var det i første rekke andre institusjoner enn Havforskningsinstituttet som overvåket alger. I sum varierte forekomsten av skadelige alger i 1998 fra beskjedent til normal. Oppblomstringen av *Chattonella*, som er omtalt under Skagerrak, løste seg opp i Ryfylket uten å skape problemer lenger nord. Nord i Ryfylkefjordene, Hylsfjorden og Sandsfjorden, skapte heller ikke den årvisse forekomsten av *Prymnesium* noen problemer. I mai - juni oppstod akutt, og betydelig fiskedød i to oppdrettsanlegg på Kvaløya vest for Tromsø. Det ble påvist en del *Chrysochromulina* i området, men årsaken til fiskedøden er ikke klarlagt. Ellers er vi ikke kjent med betydelige effekter av alger på fisk og fiskeoppdrett langs kysten fra Rogaland til Finnmark i 1998.

Problemene med algegifter i skjell var nokså normale fra Rogaland til Finnmark. Fra Rogaland til og Trøndelag var *Alexandrium* vanlig fra april til juni og førte til stedvis opphopning av paralytisk gift i skjell over faregrensen. Som vanlig var problemet størst i Romsdal hvor skjellene var giftige i ca 12 uker fra april til juli. Også i Frøya-/Hitraområdet var det mye problem. Der ble advart mot høsting av ville skjell fra mai til uti august og påvist gift ved tre anledninger. Lokalt i Rissa i Trøndelag, hvor det ble sjekket for gift i skjell ved musetest annen hver uke fra april til oktober (i alt 15 analyser), ble det ikke påvist paralytisk gift. Dette illustrerer hvor flekkvis problemet kan være. Lenger nord, ved Brønnøysund, ble det advart mot selvplukking i 12 uker (april - juli) og påvist paralytisk gift i skjell ved to anledninger. I 1998 fikk vi på ny bekreftet paralytisk gift i Øst-Finnmark, fra august til september ble det advart mot å plukke ville skjell i åtte uker og påvist paralytisk gift to ganger.

*Dinophysis* spp. forekom i betydelig mindre grad over faregrensen fra Rogaland og nordover enn i Skagerrak. Som tidligere år er det på stasjonen i Sognefjorden (Menes) at *Dinophysis* registreres mest på Vestlandet, og der var en påvisning av diarégift i skjell i slutten av august. På samme stasjon ble det også advart mot konsum av skjell

på grunn av store forekomster av *Pseudo-nitzschia* et par uker i september uten at giftighet ble påvist. Nord for Sogn og Fjordane var det advarsler om fare for diarégifter i skjell på

grunn av *Dinophysis*-mengder over faregrensen bare i Romsdal og Namdal. Bare i Romsdal ble giftighet av skjell ble påvist. (Det kan leses mer om skadelige alger i temaartikkel bak i rapporten).



**Figur 3.17**  
*Dinophysis acuminata*, *D. acuta* og *D. norvegica* i Flødevigen, 0-3 meters dyp. Tynn heltrukken linje er målinger i 1998. Tykk heltrukken linje er medianer (normaler) for hver uke basert på alle data i perioden 1989-97. Stiplede linjer er første og tredje kvartiler (naturlig variasjonsbredde).

*Dinophysis acuminata*, *D. acuta* and *D. norvegica* in the Flødevigen bay, 0-3 meters depth. The thin curve is data from 1998. The bold curve is medians for every week based on all data for the period 1989-97. Dotted lines are first and third quartiles.



## 4. FORURENSING

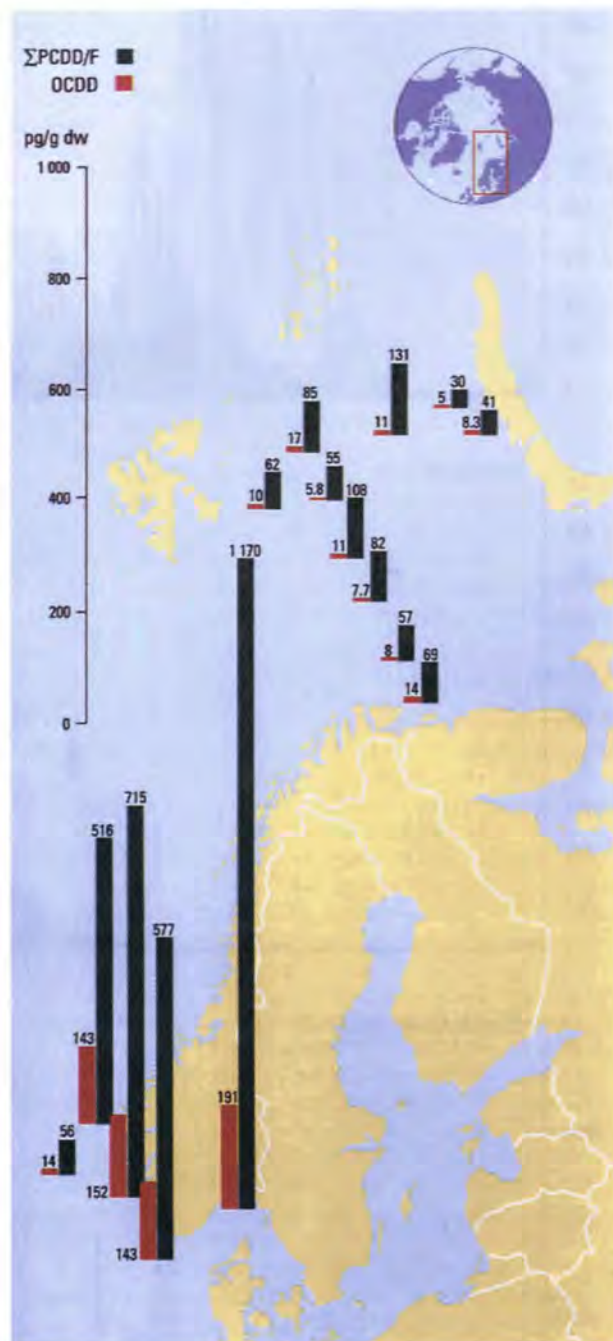
### 4.1 Forurensing

I regi av Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP) er det gjennomført en vurdering av miljøstatus i Arktis. Et hovedprodukt fra arbeidet var en vitenskapelig rapport utgitt 1998 som beskriver kunnskapsstatus angående forurensningssituasjonen i Arktis (AMAP Assessment Report: Arctic Pollution Issues). I arbeidet inngikk også beskrivelser av miljøstatus for Norskehavet og Barentshavet. Følgende hovedgrupper av forurensning ble vurdert: organiske miljøgifter, metaller, radioaktive isotoper, olje og polyaromatiske hydrokarboner (PAH). Her gis en kort oppsummering av en del resultater.

Nåværende og tidligere bruk i ulike land av plantevernmidler og industrikjemikalier er hovedkilden til organiske miljøgifter i arktiske marine områder. Organiske miljøgifter kjenne-tegnes ved sen nedbrytning, evne til oppkonsentrering i marine næringskjeder og høy giftig-

**Figur 4.1** Konsentrasjoner (pg/g tørrvekst) av oktaklorodioksin (OCDD) og totalmengde polyklorinerte dioksiner/furaner (PCDD/Fs) i overflatesedimenter viser en nedadgående trend fra Nordsjøen nordover mot Barentshavet (Oehme et al. 1993). Transporten av disse og andre organiske miljøgifter fra de tett befolkete og industrialiserte områdene rundt Nordsjøen til det mer uberørte Barentshavet skjer i stor grad via atmosfæren.

*Concentration (pg/g dw) profiles for octachlorodioxin (OCDD) and total polychlorinated dioxines/furanes (PCDD/Fs) in marine surface sediments shows a decreasing trend from the North Sea northwards to the Barents Sea (Oehme et al. 1993). Transport via the atmosphere is a major transport route of persistent organic contaminants like the "dioxines" from densely populated and industrialised areas around the North Sea to the more pristine Barents Sea.*



het. Den viktigste transporten fra de store kildene i tempererte områder går via atmosfæren. Kilder innen Arktis finnes også. Eksempler er utslipp av HCB (heksaklorbensen), dioksiner og furaner fra forbrenningsanlegg, og fra fabrikker for produksjon av tremasse og papir. Utslipp av PCB (polyklorerte bifenyler) fra bruk i blant annet elektriske installasjoner er et annet eksempel.

Generelt er nivåene av organiske miljøgifter i Arktis lavere enn i tilsvarende arter fra tempererte områder. Eksempelvis inneholder sel fra Barentshavet betydelig lavere konsentrasjoner enn sel fra Østersjøen og den sydlige Nordsjøen. Det finnes imidlertid unntak. Forhøyete nivåer av PCB er funnet rundt Svalbard, østlige Grønland og i Barentshavet. Dette tror man skyldes en fokusering av nedfall fra atmosfæren på grunn av de spesielle meteorologiske forholdene i området. Lokale kilder og sesongmessig smelting av is kan også spille en rolle, is som kan anrikes på stoffene gjennom akkumulering fra atmosfæren i vinterhalvåret. Rapporterte nivåer av PCB i eksempelvis ringsel, polarmåke, nise, hvalross, isbjørn og polarrev er så høye at negative biologiske effekter ikke kan utelukkes. PCB er kjent for å kunne påvirke reproduksjon, immunsystem og atferd.

Metaller er naturlig forekommende grunnstoff som finnes i alle økosystemer. Nivåene varierer og påvirkes av ulike menneskelige aktiviteter. Havområdene mottar metaller gjennom nedfall fra atmosfæren, innstrømmende vann fra tempererte strøk, elveavrenning og fra lokale kilder. Industrianleggene på Kola i Russland er en betydelig lokal kilde.

I Arktis er det i første rekke kvikksølv (Hg), kadmium (Cd) og bly (Pb) som kan ha miljømessig betydning. I marine områder er det størst oppmerksomhet omkring forekomsten av Cd og Hg siden de har en tendens til å bioakkumuleres i marine næringskjeder til konsentrasjoner som er så høye at de kan medføre helserisiko for dyr og mennesker. Bly antas å utgjøre et forholdsvis lite og lokalt problem. Cd-nivåene i store deler av Arktis er høyere enn det som regnes som et naturlig forekommende globalt bakgrunnsnivå. Nivåene av kvikksølv i

marine pattedyr er også forholdsvis høyt.

Biologiske effekter av metaller på arktiske marine dyr i har i liten grad vært undersøkt. Det er antatt at Cd-nivåene i sjøfugl og marine pattedyr fra nordvestsiden av Grønland er høye nok til å kunne medføre nyreskader. Det er en risiko for at Hg kan medføre et helseproblem for de mest eksponerte marine pattedyr. Nivåene av Hg i grindhval som fanges til konsum på Færøyene er så høye at det kan utgjøre et problem for menneskene som spiser kjøttet. Selen som beskytter mot Hg-forgiftning er imidlertid også tilstede i betydelige mengder, noe som medfører at risiko for skade minker betraktelig.

Radioaktiv stråling fra radioisotoper i marine organismer er svært lav sammenlignet med nivåene i dyr som lever på land, og regnes derfor å utgjøre et forholdsvis lite problem. Selv under det største nedfallet under atombombespregningene på 1950-60-tallet, var aktivitetene av cesium-137 i marin fisk stort sett under 10 Bq/kg. Grensen helsemyndighetene har satt for forbud mot omsetning av kjøtt er til sammenligning 600 Bq/kg. Nyere målinger i fisk fra norske havområder viser at aktiviteten av cesium - 137 nå er omkring 1 Bq/kg. Den viktigste nåværende kilde til radioaktive isotoper i arktiske marine områder er utslipp fra reprosesseringsanlegg for radioaktivt brensel, spesielt fra Sellafield ved Irskesjøen. Russernes mangelfulle håndtering og oppbevaring av radioaktivt avfall i Barentsregionen utgjør et potensielt fremtidig problem. Ulykker ved atomkraftverk på Kola som fører til utslipp, kan heller ikke utelukkes. Det er i Norge opprettet en nasjonal beredskap for å få oversikt over omfanget av og kunne håndtere disse potensielle truslene. Oljehydrokarboner og PAH utgjør først og fremst et problem i havner, ved elveutløp og i kystområder som direkte tilføres olje fra lokale kilder. I åpent hav har olje til nå utgjort et lite problem. Dette bildet kan forandre seg hvis det igangsettes omfattende utbygging og produksjon av olje og gass i Barentshavet. Store reserver av gass er allerede påvist i russiske områder. Oljehydrokarboner og PAH transporteres også til Arktis via atmosfæren fra tett befolkede og høyt industrialiserte områder lenger syd i den mer

tempererte del av verden. Modell-beregninger har vist at dette årlig kan utgjøre ca 40.000 tonn. Dette har ført til at bakgrunnsnivået i blant annet marine sedimenter ligger noe høyere enn i enkelte andre deler av verden. Mønsteret av PAH enkeltkomponenter kan benyttes til å få infor-

masjon om betydningen av ulike kilder. I tillegg til olje så utgjør ufullstendig forbrenning av fossilt brensel som ved, kull og olje viktige kilder til PAH. Nivåene av PAH i fisk er vanligvis helt ubetydelige som følge av at fisken omdanner og skiller ut forbindelsene forholdsvis hurtig.



## Kan opptak av atmosfærisk CO<sub>2</sub> i Grønlandshavet redusere virkningen av "drivhuseffekten"?

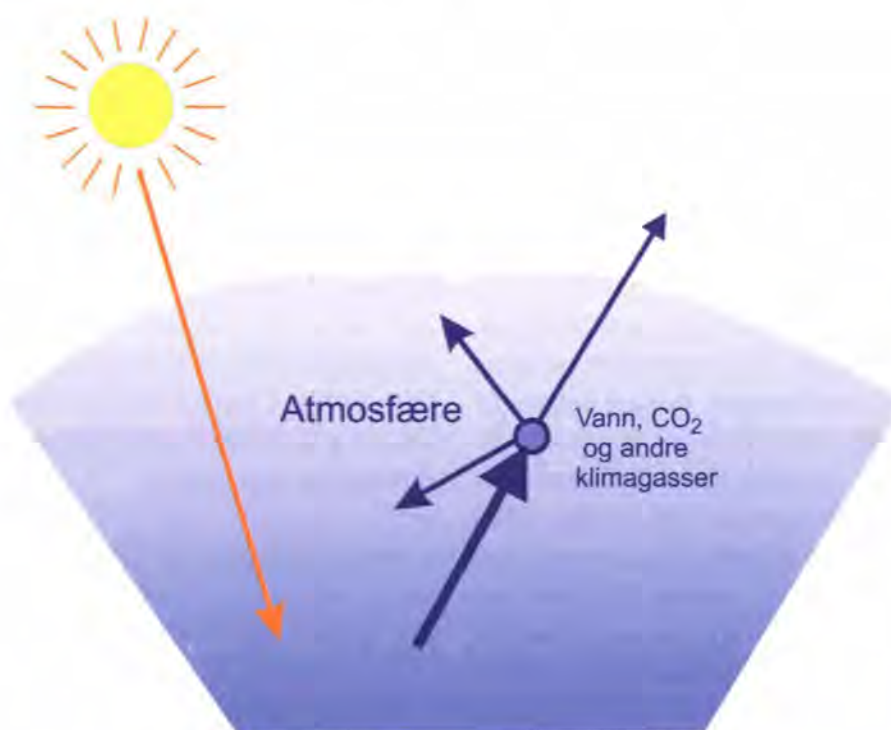
Lisa Miller,  
Francisco Rey  
og Thomas Noji

**K**arbondioksyd (CO<sub>2</sub>) er en viktig kilde til alt liv i havet. Ved fotosyntese omdanner planteplanktonet CO<sub>2</sub> til organisk karbon ved hjelp av lyset. I tillegg er CO<sub>2</sub> en viktig klimagass. Når kortbølget sollys treffer jordoverflaten, blir denne varmet opp og sender ut langbølget varmestråling. Denne varmestrålingen blir absorbert av en rekke såkalte klimagasser i atmosfæren, noe som fører til at temperaturen der øker. Atmosfæren virker altså på samme måte som glasset i et drivhus ved at det stenger for den langbølgete varmestråling ut. To av de viktigste klimagassene som fører til denne «drivhuseffekten» er vandamp og CO<sub>2</sub> (figur 5.1).

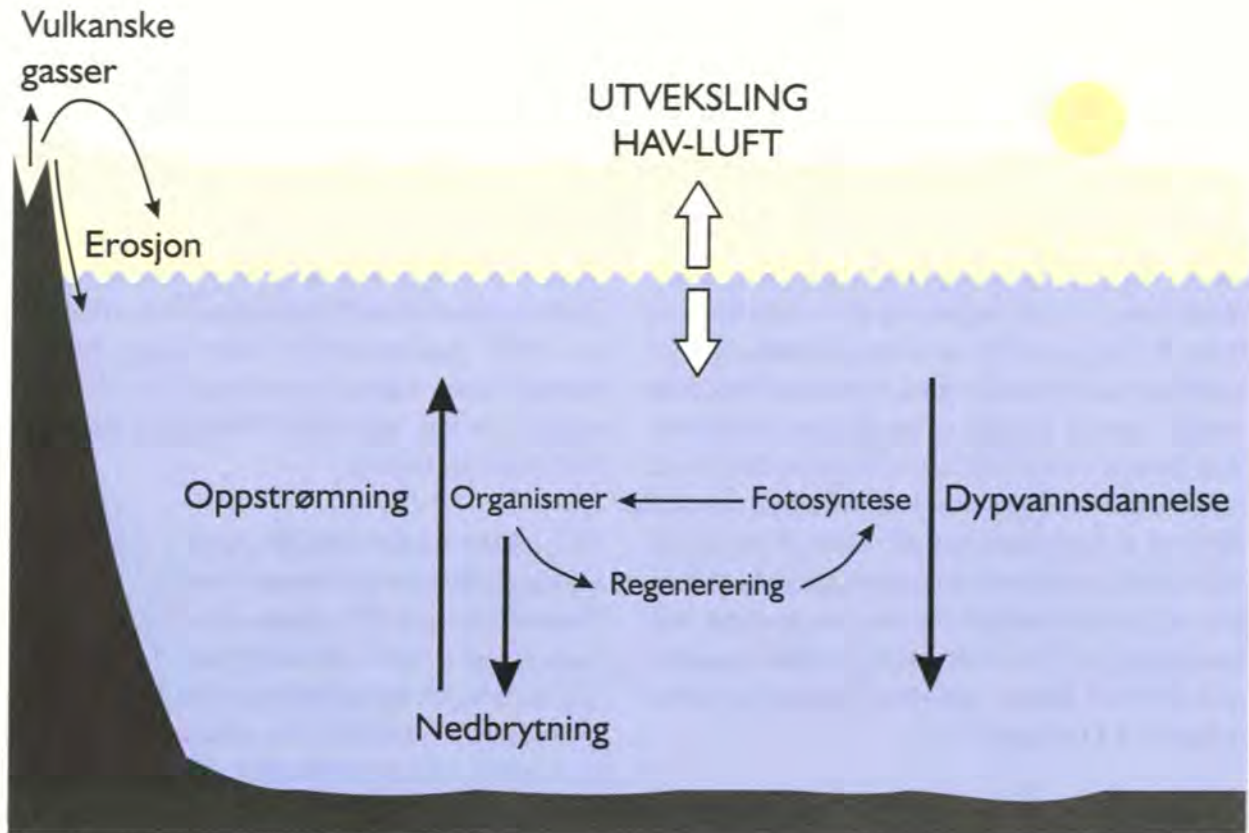
“Drivhuseffekten” er altså årsaken til at jorden blir varm nok til å ha liv slik vi kjenner det. Uten atmosfærisk vandamp og karbondioksyd ville

nesten all varmen som reflekteres tilbake fra jordens overflate forsvinne ut i verdensrommet, og jordens gjennomsnittlige temperatur ville være ca - 18°C istedenfor 14°C som i dag. Selv om klimagassene danner grunnlaget for vår eksistens på jorden, kan økte tilførsler av dem også forårsake problemer.

CO<sub>2</sub> lekker kontinuerlig fra jordens indre og blir i tillegg utløst fra steingrunn via naturlig slitasje. Plantene tar opp CO<sub>2</sub> direkte fra atmosfæren via fotosyntesen. Selv om mesteparten resirkuleres via respirasjon hos planter og dyr, blir en del lagret som tre eller kull. De mikroskopiske planter i havet, planteplanktonet, tar også opp CO<sub>2</sub> som er oppløst i havet. I tillegg til å bygge opp organisk stoff på samme måte som landplantene, bruker flere marine planteplanktonarter CO<sub>2</sub> til



**Figur 5.1** Forenklet fremstilling av drivhuseffekten.  
*Simplified representation of the green house effect.*



**Figur 5.2** Forenklet fremstilling av den globale karbonsyklusen knyttet til havet.  
*Simplified representation of the global carbon cycle related to the ocean.*

å bygge opp skall av kalsiumkarbonat. Når planteplanktonet eller de dyrene som ernærer seg av det dør, vil en liten del av dem synke til de store havdypene og bli lagret i bunnsedimentene.

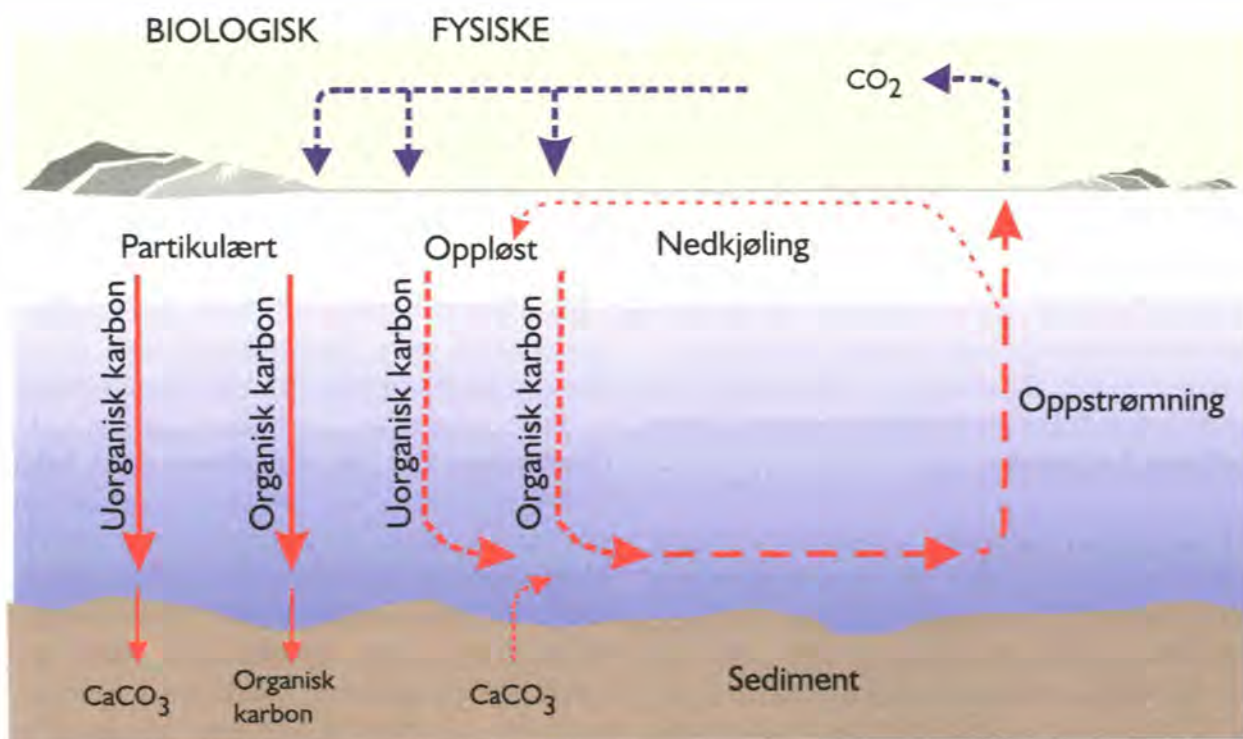
Siden begynnelsen av den industrielle revolusjonen er det observert en stadig økning av atmosfærisk  $\text{CO}_2$  ved forbrenning av fossilt brennstoff (kull, gass, olje). Den omvendte prosess; omdanningen av atmosfærisk bundet karbon til fossilt brennstoff, er ikke rask nok til å kompensere for den første. Resultatet er en økning i konsentrasjonen av atmosfærisk  $\text{CO}_2$ . Siden 1800 har den midlere atmosfæriske  $\text{CO}_2$  konsentrasjonen økt med ca 30 %, fra omtrent 280 deler per million (280 ppm) til ca 370 ppm i dag. I samme periode har også jordens gjennomsnittstemperatur økt. Som vist i figur 5.2 er den globale karbonsyklusen knyttet til havet ekstremt komplisert, og det er uklart hvordan de menneskelige utslippene av  $\text{CO}_2$  til atmosfæren virker inn på dette systemet.

Bare halvparten av de menneskeskaptene  $\text{CO}_2$ -utslippene fra fossilt brennstoff forblir i atmosfæren. Dette tyder på at den globale  $\text{CO}_2$ -syklusen delvis er i stand til å kompensere for økningen i utslippene. En del av denne økte  $\text{CO}_2$ -mengden blitt tatt opp av landplantene mens ca 30 % blir tatt opp av havet. Bare en ørliten del av den  $\text{CO}_2$  som løses opp i havet fra atmosfæren felles ut som sedimenter på bunnen. En vesentlig del av  $\text{CO}_2$  forblir i havets øverste lag, hvor det blir brukt og resirkulert av planteplanktonet og andre marine organismer.

Karbondioksyden når de dypere vannmassene via to prosesser som på en effektiv måte "pumper" karbon fra overflaten og ned (figur 5.3).

Den første prosessen er kjent under navnet "den fysiske karbonpumpen" og er avhengig av det globale sirkulasjonsmønsteret i havet. I enkelte kalde og isolerte områder som i Grønlandshavet, Labradorhavet og Wedellhavet i Antarktis, blir





**Figur 5.3** Den biologiske og den fysiske karbonpumpen.  
*The physical and the biological carbon pump.*

overflatevannet om vinteren så kaldt og tungt at det synker ned til store dyp. Dette vannet strømmer ut av disse havene og fyller opp resten av verdens dyphavsområder med kaldt vann. Da gasser oppløses bedre i kaldt enn i varmt vann, inneholder disse vannmassene høye  $\text{CO}_2$ -konsentrasjoner. Selv om denne «fysiske karbonpumpen» bare fungerer i noen få områder rundt om i verden, så vil de store vannmengder som synker ned her (ca 25 millioner  $\text{m}^3$  per sekund i verdensmålestokk) gjøre at de tar med seg store mengder oppløst karbon bort fra overflatelaget og derved fra atmosfæren.

Den andre prosessen, kjent som den "biologiske karbonpumpen," fører med seg bare små mengder karbon ned til de store dyp, men den fungerer i alle verdenshav. Mesteparten av karbonet som tas opp av planteplanktonet, blir resirkulert i overflatelaget. En del av det karbon som er bundet til planteplanktonet synker ut av overflatelaget til de dypere vannlag, uten å nå hav-

bunnen (ca 5 %). Bare små mengder når havets bunn (ca 0.5 %) og sedimentere der.

Hverken den biologiske eller den fysiske karbonpumpen bidrar noe særlig til permanent lagring av karbon i sedimentene. Men ved å transportere karbon vekk fra overflatelaget og til dype vannmassene, bidrar disse to mekanismene til å fjerne karbon fra atmosfæren for perioder lengre enn noen hundre år. Disse to mekanismene vil derfor påvirke den atmosfæriske  $\text{CO}_2$ -konsentrasjonen over flere generasjoner. Matematiske modeller som simulerer den globale karbonsyklusen, har vist at små endringer i den ene eller den andre av disse to prosessene kan ha store konsekvenser, som feks. dannelse av istider eller en raskere global oppvarming. Disse modellene kan bare fortelle oss hva som kan skje dersom det blir endringer i disse prosessenes virkemåte. De kan ikke fortelle oss om slike forandringer virkelig vil finne sted og i tilfelle hvordan.



I de siste årene har det vært spekulert mye over at en global oppvarming kan føre til en reduksjon eller stopp av dypvannsdannelsen i Nord-Atlanteren. En økning i den globale gjennomsnittstemperaturen kan føre til både økt nedbør og ferskvannsavrenning. Dette vil på sin side kunne resultere i en reduksjon av saltholdigheten i overflatevannet i nordområdene. I tillegg vil høyere temperaturer smelte havisen, og også bidra til en reduksjon av saltholdigheten i overflatevannet. For å bremse dypvannsdannelse trengs det kun en reduksjon i overflatesaltholdigheten på 0.01 %. Ferske observasjoner i de siste årene tyder på at den gjennomsnittlige istykkelsen i Arktis er blitt redusert med ca 30 % siden 70-årene, og at det totale isdekkingsarealet er blitt omkring 5 % mindre.

En reduksjon i dypvannsdannelse vil klart redusere effekten av den fysiske karbonpumpen, mens det er mindre klart hvordan dette kan påvirke den biologiske pumpen. Spørsmålet om en eventuell reduksjon i dypvannsdannelsen i Nord-Atlanteren og hvordan dette kan påvirke transporten av karbondioksyd til de store havdypene, er helt sentralt for å forstå hvordan menneskeskapte utslipp av CO<sub>2</sub> til atmosfæren kan endre det globale klima.

Grønlandshavet (figur 0.1) er et av de få områdene hvor det dannes dypvann. I de siste årene er området blitt sentrum for vitenskapelige undersøkelser for å forsøke å gi svar på viktige spørsmål omkring variasjoner i karbonpumpene. Varmt vann med høy saltholdighet blir transportert nordover fra Nord-Atlanteren via Den norske Atlanterhavstrømmen til Grønlandshavet. Dette vannet blandes her med kaldere vann som strømmer ut fra Polhavet via Øst-Grønlandsstrømmen. Om vinteren, når temperaturen synker og isdannelsen finner sted, blir dette allerede salte og kalde vannet videre avkjølt og mer salt. Dermed blir tettheten så høy at det synker ned til større havdyp og strømmer sørover og ut av området. Dette vannet erstattes igjen av det nordgående atlantis vannet. Havforskere fra mange land har de siste ti årene arbeidet for å studere dette systemet, for å forstå hvordan prosessene som fører til dypvannsdannelse og karbonsyklusen henger sammen.

Et av de viktigste resultatene fra disse undersøkelsene er at Grønlandshavet aktivt fjerner CO<sub>2</sub> fra atmosfæren gjennom hele året. De fleste havområder kan ta opp CO<sub>2</sub> bare under den biologiske produksjonssesongen, dvs. vår og sommer. I Grønlandshavet er sjøvannet svært kaldt, og dermed kan større mengder gass bli oppløst. Dette resulterer i en kontinuerlig transport av atmosfærisk CO<sub>2</sub> til havet. Denne transporten for hele Grønlandshavet kommer opp i ca. 60 millioner tonn (figur 5.4). For å se denne mengden i et større perspektiv, bør vi huske på at de totale CO<sub>2</sub>-utslippene knyttet til fossilt brennstoff på verdensbasis er ca. 5400 millioner tonn. Det totale opptak i Grønlandshavet er slett ikke ubetydelig.

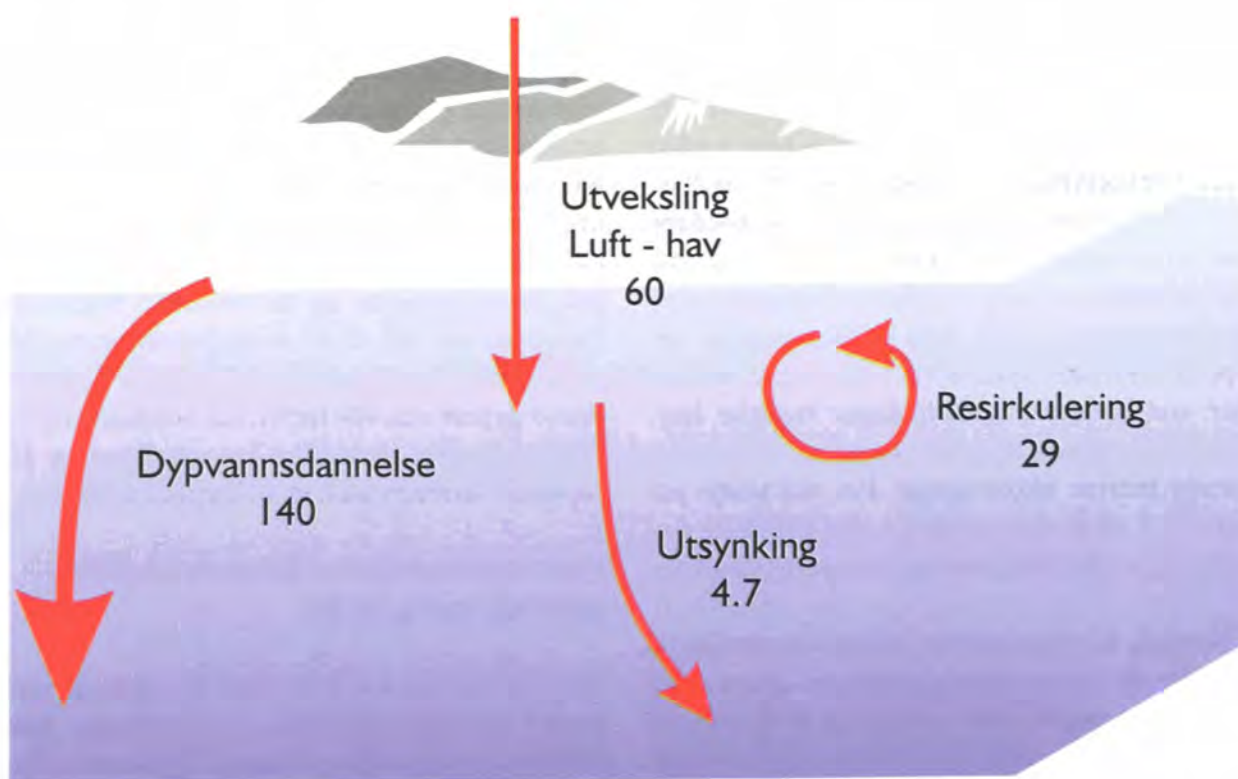
Opptaket av CO<sub>2</sub> fra atmosfæren i det kalde Grønlandshavet er bare begynnelsen på en lang prosess. Det neste trinnet er kritisk for den virkelige langtidslagringen av karbon. Alt karbon som er oppløst blir transportert ned til de store dyp med det vannet som synker ned under dypvannsdannelsen. Denne tar årlig med seg i gjennomsnitt ca. 140 millioner tonn karbon til de store dyp (figur 5.4). Uten dypvannsdannelsen i Grønlandshavet hadde det vært umulig å opprettholde denne store transporten av CO<sub>2</sub> fra atmosfæren til havet. I et hav uten dypvannsdannelse vil sjøvannet oppnå en likevekt med atmosfæren, og det vil bli mettet med CO<sub>2</sub> bare etter noen få år.

Planteplankton kan ta opp karbon ganske raskt, men er ikke effektivt til å transportere det til de store havdyp. På verdensbasis utgjør det karbon som bindes av planteplanktonet mellom 1000 og 5000 millioner tonn. Hver vår og sommer tar planteplankton opp ca 29 millioner tonn karbon i det øvre vannlaget i Grønlandshavet, men nesten alt blir resirkulert i overflatelaget om høsten. Bare ca 5 millioner tonn karbon synker ned til de store dyp (figur 5.4).

Hva betyr disse observasjoner fra Grønlandshavet for de globale klimaendringene? Ennå er vi ikke i stand til å gi et fullstendig svar på dette spørsmålet. Det er klart at dersom dypvannsdannelsen blir redusert pga ismelting og økt nedbør, vil dette kunne føre til en reduksjon av den totale mengde karbon som transporteres til

store havdyp. Det er derimot ikke opplagt at dette fenomenet vil ha en global effekt. Det vannet som transporteres til store havdyp i områder som Grønlandshavet, blir balansert ved oppstrømning av vann til overflaten andre steder på kloden, særlig i ekvatoriale områder. Disse områder frigir CO<sub>2</sub> til atmosfæren fordi varmt vann kan inneholde mindre gass enn kaldt vann. Dersom dypvannsdannelsen i polare områder blir redusert, vil dette også kunne resultere i en reduksjon av

oppstrømningen i ekvatoriale områder med en tilsvarende reduksjon av det CO<sub>2</sub> som slippes tilbake til atmosfæren. Å forutsi hva som vil kunne skje med den biologiske karbon-pumpen er da mer komplisert. For at livet i havet skal kunne øke den mengde karbon som blir fjernet fra atmosfæren må resirkuleringen av organisk bundet karbon i det øvre vannlaget bli mindre effektiv, slik at mer karbon synker ut til de store havdyp.



**Figur 5.4** Oppsummering av karbontransporten i Grønlandshavet. Tallene er gitt i millioner tonn karbon/år. NB! Ca 80 millioner tonn karbon/år kommer inn i Grønlandshavet med overflatestrømmene.  
*Summary of carbon fluxes in the Greenland Sea. The numbers are given in million tonnes carbon/year. Note that approximately 80 million tonnes carbon/year flows into the Greenland Sea with the surface current.*

## Lysing i namibiske farvann - en økologisk tilpasning til et oppstrømningssystem

Svein Sundby,  
Morten Skogen  
og Olav Kjesbu

**D**e siste årene har Dr. Fridtjof Nansen-programmet lagt økende vekt på å undersøke grunnlaget for produksjonen av fiskebestander i Benguelastrømmen utenfor kystene av Sør-Afrika, Namibia og Angola i tillegg til den tradisjonelle innsatsen med bestandsberegninger. Det er tre hovedgrunner til denne satsingen. For det første har forskningen i våre egne farvann i Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet gitt en rekke viktige eksempler på den betydningen som havklimavariasjoner og produksjonen av plankton har på rekruttering og vekst i fiskebestandene. For det andre er Benguelaøkosystemet et typisk oppstrømningssystem som i likhet med de vår-oppblomstrende systemene i våre egne farvann har vist klarere sammenhenger mellom havklimavariasjoner og produksjonen av fisk enn øvrige marine økosystemer. For det tredje ønsker vi å støtte opp under en mer helhetlig forvaltning av fiskebestandene i utviklingslandene.

I Namibia har dette gitt seg utslag i en satsing på å undersøke naturgrunnlaget for den økonomisk viktige bunnfiskarten lysing og betydningen dette har for reproduksjon, rekruttering og vekst. Det er utviklet en numerisk modell som simulerer havstrømmene og produksjonen av planteplankton. Det er gjennomført feltstudier og eksperimentelle studier på gyteadferd, eggutvikling, drift og spredning av egg og larver. Videre er det startet opp genetiske studier og et prosjekt som skal undersøke modning og gyteforløp for lysing.

### Lysing fra Kapp det gode håp til Møre

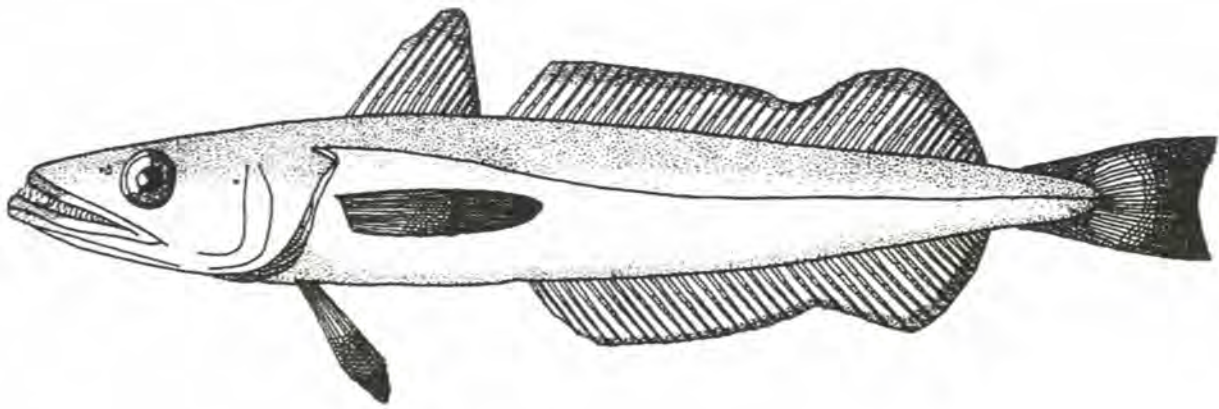
Til sammen 12 arter av slekten lysing (*Merluccius*) er kjent i Stillehavet og Atlanterhavet. På denne siden av Atlanterhavet finnes slekten langs Afrikas og Europas vestkyster, og i Middelhavet helt fra Kapp-provinsen i sør til Mørkekysten i nord. I norske og europeiske farvann er det *Merluccius merluccius* som råder grunnen. Uten-

for kysten av Angola finner vi *Merluccius polli* og lengre nordvest *Merluccius senegalensis*. De store og økonomisk viktige bestandene av lysing finner vi imidlertid i Benguelastrømmen, utenfor kysten av Sør-Afrika og Namibia. Her er det to arter som begge blir omtalt som «Cape hakes», *Merluccius capensis* og dypvannsarten *Merluccius paradoxus*. Morfologisk er disse to artene svært like, og det blir da heller ikke skilt mellom dem i det kommersielle fisket. Det er imidlertid mulig å se forskjell på noen små detaljer, nemlig fargeforskjeller på noen små tapper på gjellebuene og på bakerste bukfinne. Dessuten ser det ut til at dypvannsarten (*M. paradoxus*), som i namibiske farvann stort sett finnes dypere enn 400 meter, har noe større øyne. Figur 5.5 viser de tidlige larvestadiene av *M. capensis* sammen med et voksent eksemplar.

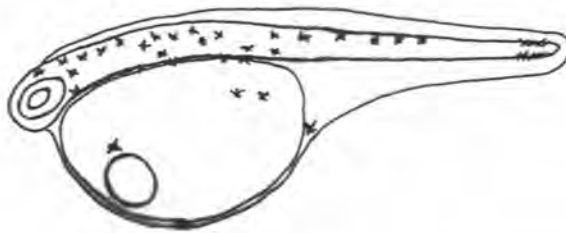
### Planktonproduksjonen i Benguelastrømmen som livsgrunnlag for fisk

Etter det vi i dag vet er det bare *M. capensis* som gyter i namibiske farvann. *M. paradoxus*, som altså har beiteområde på større dyp utenfor Namibia, gyter trolig i sørafrikanske farvann. *Capensis*-lysingens livssyklus i namibiske farvann er preget av at den lever i et økosystem hvor oppstrømning gir grunnlaget for planktonproduksjonen: Benguelastrømmen, som renner nordover langs kysten av sørvest-Afrika, fra Agulhasbanken i sør til Angolakysten i nord, drives av den fremherskende sterke sør-sørøstlige vinden som blåser i større eller mindre grad hele året. Som følge av jordrotasjonens avbøyende virkning, vil overflatevannet i den nordgående Benguelastrømmen da drives ut fra kysten. Dette kompenseres ved at kaldt og næringsrikt vann fra dypet løftes og strømmer inn mot kysten og erstatter overflatevannet. Det gir opphavet til en kraftig planteplanktonproduksjon som varierer i takt med vindvariasjonene. Siden oppstrømningen foregår hele året

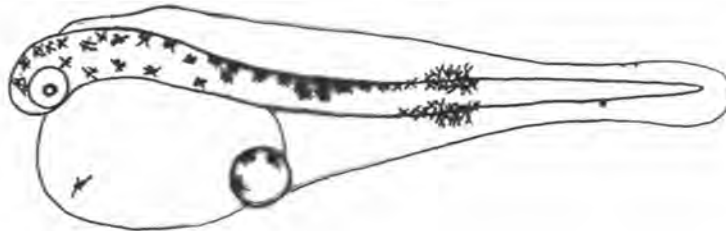




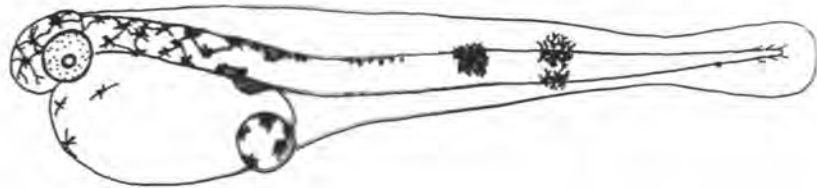
2,4 mm Nyklekt  
2,4 mm Newly hatched



3,0 mm 4 dager gammel  
3,0 mm 4 days old



3,4 mm 6 dager gammel  
3,4 mm 6 days old



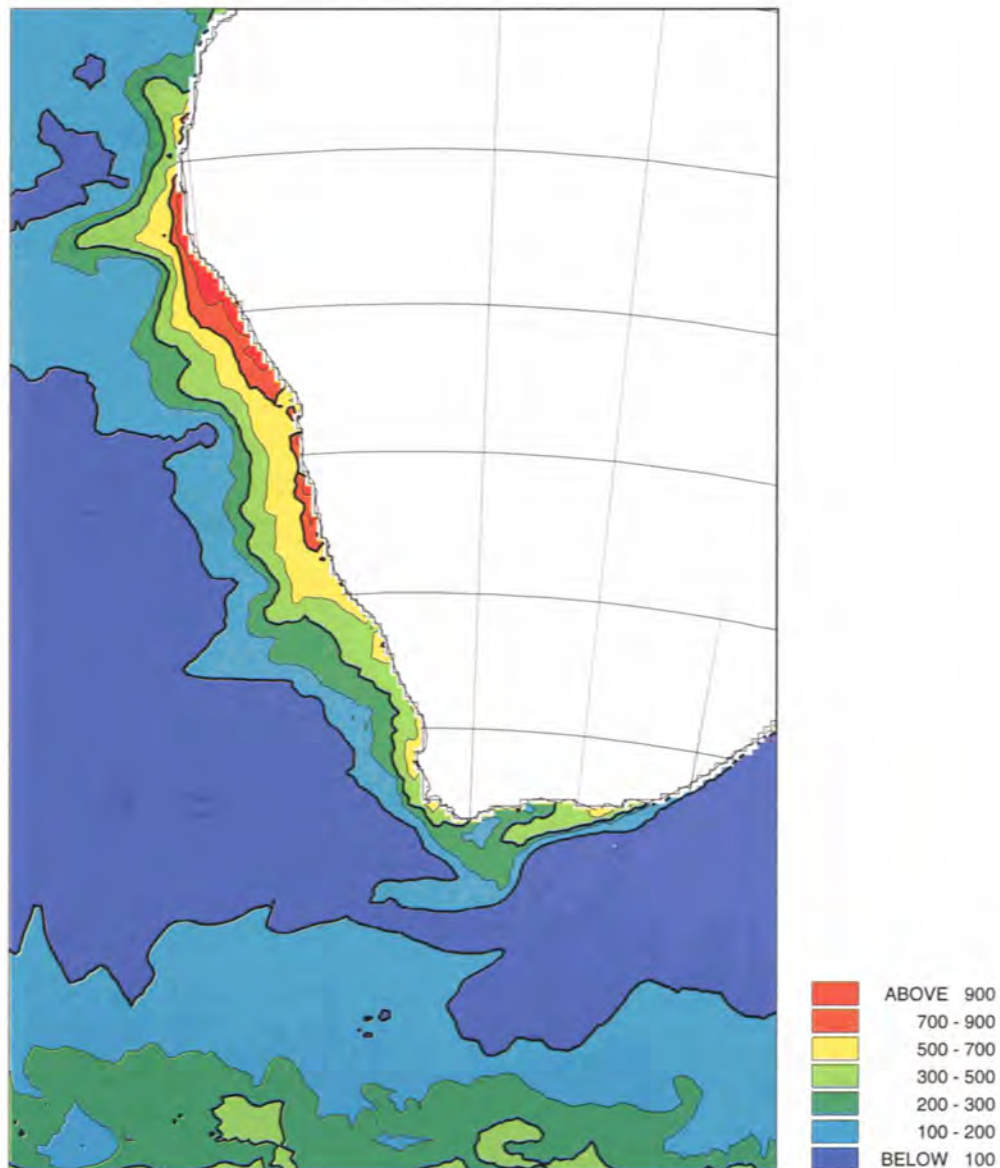
2,5 mm 8 dager gammel  
2,5 mm 8 days old



**Figur 5.5** Lysing (*Merluccius capensis*). Tidlige larvestadier (etter Thorisson 1997) og voksent eksemplar (fra FAO Fisheries Synopsis, Species Catalogue 1990: No. 125, Vol. 10).  
*Cape hake (Merluccius capensis). Early larval stages (after Konrad Thorisson 1997) and adult individual (FAO Fisheries Synopsis, Species Catalogue 1990: 125, Vol. 10).*

og sørger for kontinuerlig tilførsel av nærings-salter, og det heller ikke er større sesongmessige variasjoner i lysintensiteten, er det en jevn produksjon av planteplankton året rundt. Den er imidlertid noe høyere under den sørligere våren i september - oktober, da vindstyrken på denne tiden er særlig høy.

Intensiteten i oppstrømningen er ikke konstant langs hele Benguelastrømmen. Det er geografiske variasjoner som følge av lokale variasjoner i vindstyrken langs kysten. I de namibiske farvannene er oppstrømningen spesielt kraftig i to områder hvor vinden er særlig høy, omkring Lüderitz sør i Namibia og ved Cape Frio i nord

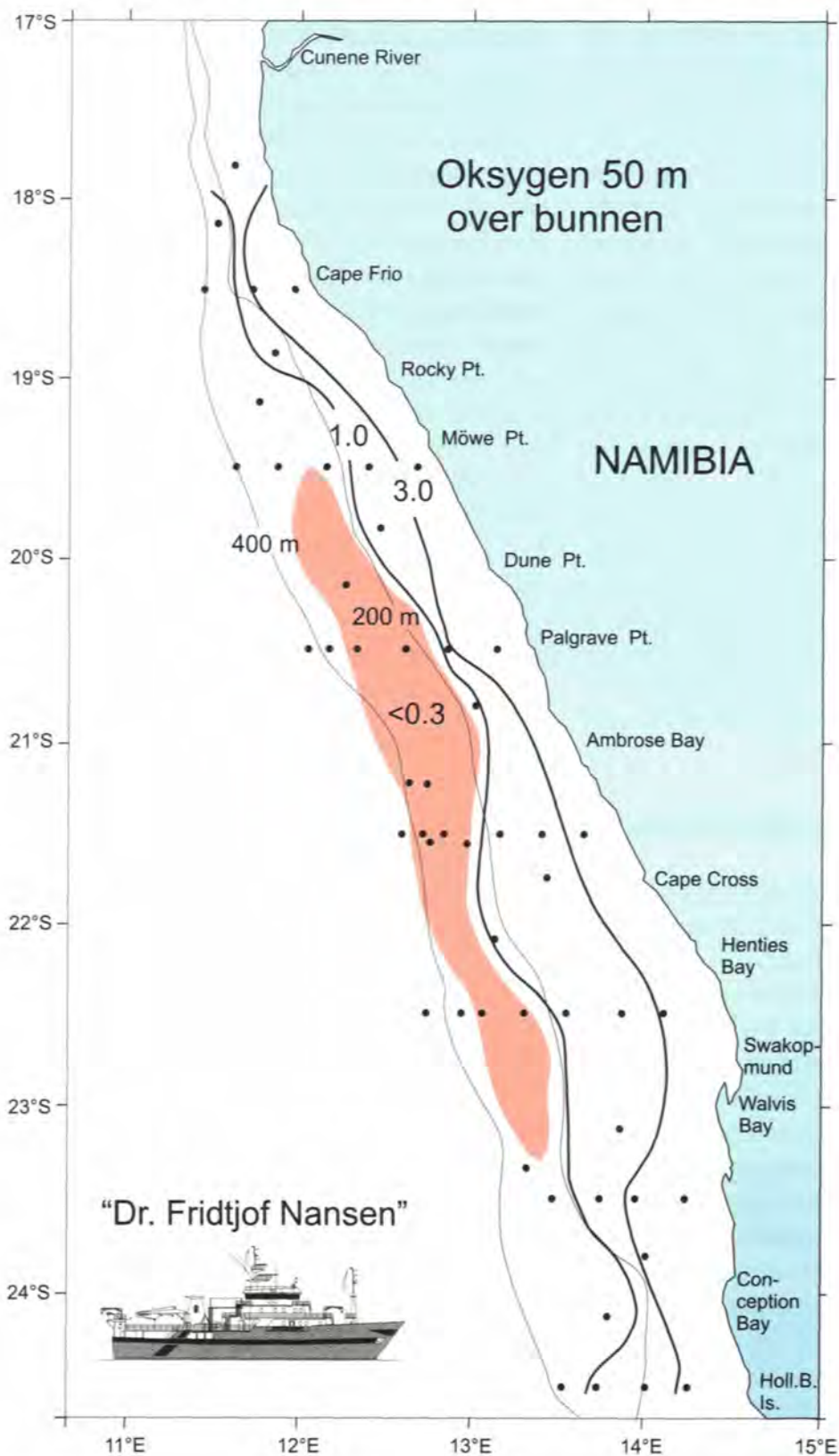


Modellert primærproduksjon (gC/m<sup>2</sup>/år)

**Figur 5.6** Produksjonen av planteplankton langs den sørvest-afrikanske kysten uttrykt i produsert gram karbon pr. m<sup>2</sup> pr. år. Basert på numerisk modell utviklet ved Havforskningsinstituttet.  
*Primary production (in g carbon pr. m<sup>2</sup> pr. yr) along the Southwest African coast. Results from numerical model developed at Institute of Marine Research.*

mot grensen til Angola. Figur 5.6 viser hvordan produksjonen av planteplankton, uttrykt i gram karbon produsert pr. m<sup>2</sup> pr. år varierer basert på en numerisk modell utviklet ved Havforskningsinstituttet. Som det går fram av figuren, er produksjonen nær kysten i oppstrømningsområdet jevnt over svært høy med over 500 g karbon pr.

m<sup>2</sup> pr. år (gult område), men de to røde områdene utenfor Lüderitz og Cape Frio skiller seg ut med en produksjon på over 1000 g karbon pr. m<sup>2</sup> pr. år. At det er et meget produktivt havområde vi her har med å gjøre, er klart når vi sammenligner med Nordsjøen, hvor produksjonen er omtrent 150 g karbon pr. m<sup>2</sup> pr. år.



**Figur 5.7**  
Oksygenkonsentrasjonen (ml/l) 50 meter over bunnen i oktober 1998.

*Oxygen concentration (ml/l) 50 m above the bottom in October 1998.*



## Rådende rekrutteringshypoteser for pelagiske fisk i oppstrømningsområder

Pelagiske fiskearter som sardiner, ansjos og hestmakrell er vanligvis økonomisk viktige arter i oppstrømningsystemer, og det er også tilfellet langs kysten av Namibia. Disse artene har pelagiske egg som blir gytt og utviklet i sjøens øvre lag. Ifølge Andy Bakuns hypotese vil produksjon og rekruttering av slike fiskearter øke proporsjonalt med vindstyrken, som følge av at høyere intensitet i oppstrømningen gir påfølgende økt næringsproduksjon for fisk i form av plankton. Seinere er denne hypotesen modifisert etter at Curí og Roy undersøkte oppstrømningsområdet utenfor Marokko og fant at rekrutteringen avtok når vindstyrken ble høyere enn en optimal middelvei på ca 5 m/s. Dette ble forklart med at den positive effekten på rekrutteringen i form av høyere tilgang på næring for fiskelarvene blir motvirket av økende tap av egg og larver fra fiskebestandens naturlige oppvekstområde nær land; dette som følge av økningen i den vindrevne transporten ut fra kysten. Mot slutten av de artikkelen vil vi komme tilbake til disse hypotesene og vise at lysingen gjennom økologisk tilpasning har utviklet egenskaper ved egg og larver som motvirker transport ut fra det næringsrike oppvekstområdet ved kysten.

### Namibia-lysingens spesielle nisje i økosystemet

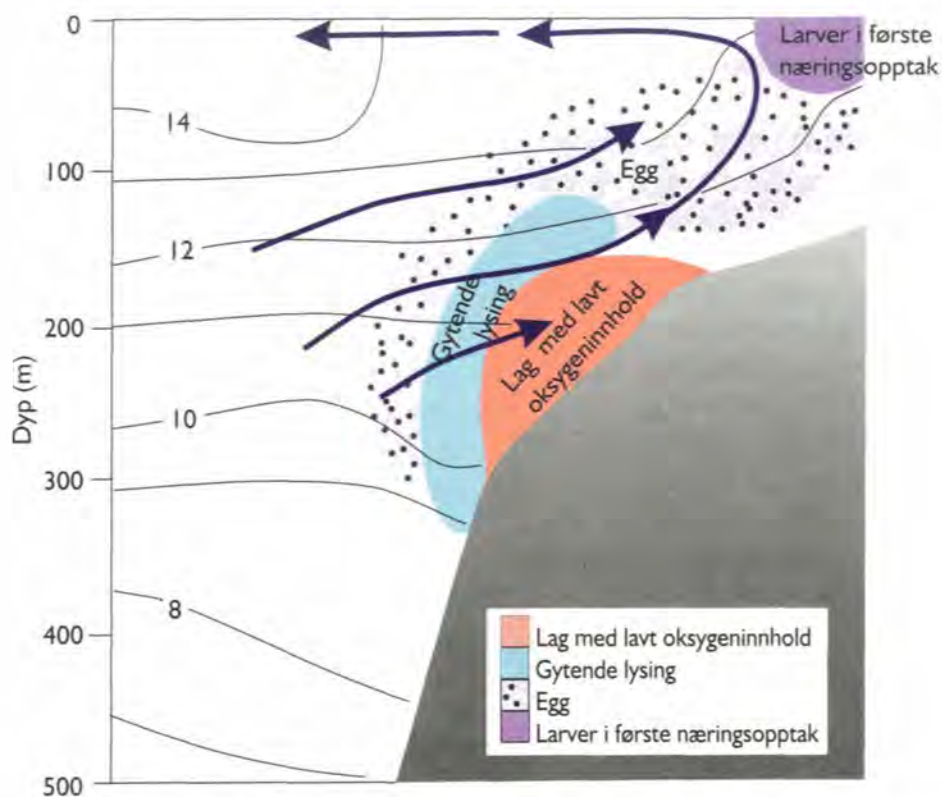
Den ekstremt høye planktonproduksjonen i namibiske farvann gir seg også utslag i andre spesielle forhold. Sedimentasjonen av dødt plankton fra havets øvre lag er enorm og har gjennom tidene skapt tykke lag av anoksiske bunnsedimenter. Dette resulterer i svært lave oksygenkonsentrasjoner i vannmassene over bunnen. Storstilte endringer i atmosfærens sirkulasjonsmønster skjer år om annet i forbindelse med såkalte «Benguela Niño»-fenomener som er beslektet med det mer kjente «El Niño» langs Stillehavskysten av Sør-Amerika. Under slike situasjoner endres havsirkulasjonen, med svekket oppstrømning og frambrudd av varmt, oksygenfattig vann fra nord. Ofte kan oksygenfrie vannmasser forekomme

helt opp til overflatelagene, med påfølgende massedød av marine organismer. Det hender også da at krepesarten «rock lobster» flykter opp på strendene i enorme konsentrasjoner.

Under vanlige omstendigheter finnes det langs store deler av Namibiakysten en linseformet vannmasse med svært lav oksygenkonsentrasjon langs kontinentalskråningen hvor bunn-dypet er mellom 200 og 400 meter. Høsten 1998 registrerte vi under tokt med «Dr. Fridtjof Nansen» et 600 km langt belte nord for Walvis Bay med oksygenkonsentrasjoner lavere enn 0.3 ml/l og som på det mektigste strakte seg til 100 meter over bunnen (figur 5.7). I store deler av denne vannmassen var oksygenkonsentrasjonen til og med lavere enn 0.1 ml/l. Omkring disse oksygenfattige områdene finner vi *Capensis*-lysing som kan overleve oksygenkonsentrasjoner på under 0.5 ml/l. På toktet med «Dr. Fridtjof Nansen» ble det fanget lysing hvor bunntrålen hadde blitt tauet gjennom vannmasser med oksygenkonsentrasjon på 0.1 ml/l. Om lysingen kan overleve i så oksygenfattig bunnvann i lengre tid er usikkert. De største individene finnes på dypt vann, helt ned mot 500 meters dyp, mens ungdomfisk og yngelen finnes i grunnere farvann inn mot kysten, ofte grunnere enn 150 meters dyp.

### Gyteområder for lysing

I et prosjekt under «Dr. Fridtjof Nansen»-programmet har det de siste tre årene vært gjort nærmere undersøkelser over lysingens rekrutteringsmekanismer i Benguelastrømmen. I motsetning til de pelagiske fiskeartene, gyter lysingen på større dyp. Det har vært antatt at den gyter nær bunnen (figur 5.8). Våre undersøkelser kan bekrefte situasjoner hvor lysingen gyter nær bunnen, men det har vist seg at gytingen også kan foregå til dels ganske høyt oppe i vannmassene dersom oksygenkonsentrasjonen i de bunnære vannmassene er for lav. I oktober 1998 ble det observert nygytte egg på 50 - 100 meters dyp over området hvor vannmassen med lave oksygenkonsentrasjoner var på sitt mektigste. For øvrig ble hovedtyngden av nygytte egg funnet i dybdeintervallene 100 - 150 m og 150 - 200 meters i områder langs kontinental-



**Figur 5.8** Prinsippskisse for vertikalsnitt gjennom Benguelastrømmen som viser temperaturfordeling, vannsirkulasjon, posisjon av laget med lav oksygenkonsentrasjon, gyteplass samt drift av egg og larver fra dypet og inn mot overflatelagene nær kysten.

*Vertical section across the Namibian part of the Benguela Current showing a conceptual picture of temperature distribution, water circulation, low oxygen layer, hake spawning region, egg distribution and distribution of first feeding larvae.*

skråningen hvor bunndypet var ca 300 meter. I det alt vesentlige fant altså gyting sted mesopelagisk, i lave oksygenkonsentrasjoner ned mot 0.3 ml/l.

Det er blitt identifisert fem konsentrerte gyteområder for lysing langs kysten av Namibia. Samtlige sammenfaller med områder hvor vi ved hjelp av hydrografiske målinger og strømmålinger har påvist at det eksisterer store virvler under overflatelaget. Således regner vi med at de fysiske forholdene på gytefeltene bidrar til å redusere spredning av egg og larver.

Et videre arbeid som nå er startet er å avklare modningssyklus hos *Paradoxus* og *Capensis* i namibiske farvann. Dette inkluderer lengden av gytelsesongen(e) og hvor mange egg hver hunn er i stand til å produsere hvert år. Ut ifra infor-

masjon på andre lysingarter samt data fra andre geografiske områder, forventes det at eggantallet er høyt for hver hunn, og at eggene blir gytt over en lang tid, dvs. at artene er porsjonsgytere.

### Drift og spredning av egg og larver

De fysiske og biologiske egenskapene til egg og larver fra lysing ble studert i laboratorium ombord i «Dr. Fridtjof Nansen» med det formål å undersøke utviklingstid, potensialet for næringsopptak og å få oversikt over flyteevne og stige-hastighet. Dette er viktige faktorer når en skal beregne transport og spredning av egg og larver. Det ble gjort ved at det ble gjennomført kunstig befruktning av moden lysing fra trålfangstene. Også «ville» egg som ble tatt i planktonhåven ble studert og klekket. Dødeligheten blant disse eggene er imidlertid mye høy-

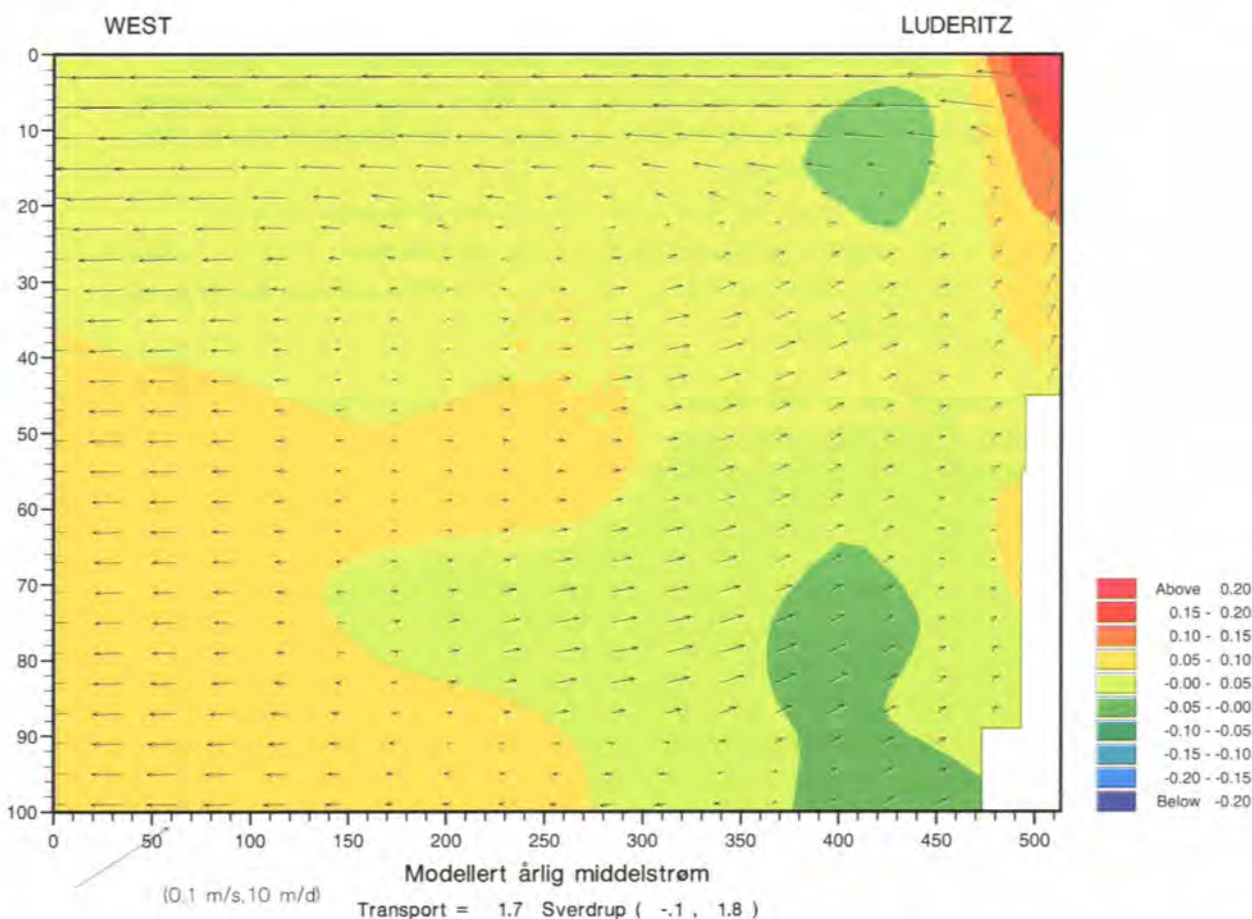


ere på grunn av de mekaniske påkjenningene eggene blir utsatt for når de blir fanget i håven.

Lysing-eggene er relativt små, noe i underkant av 1 mm i diameter og har en liten oljeperle i plommemassen. Eggene klekkes etter tre-fire døgn ved 10-13 °C, som er naturlige temperaturforhold i namibiske farvann. De nyklekte larvene er lite utviklet (figur 5.6) i forhold til pelagiske larver som vi finner i sjøens øvre lag. De har for eksempel ikke funksjonelle øyne og munn, og er således i den tidligste larvefasen tilpasset et liv i dypet uten byttedyr av dyreplankton i passende størrelse. De nyklekte larvene er også mindre aktive enn pelagisk klekte larver. På denne måten har de mye til felles med egg fra atlantisk kveite og kolmule som også klekkes i dypet, før de har kommet opp til de næringsrike overflate-

lagene. Lysing-eggene er også i likhet med kveite og kolmule relativt tunge og er bare svakt lettere enn sjøvannet omkring dem. Dette, sammen med den beskjedne størrelsen, gjør at eggene får en svært lav stige-hastighet, ikke mer enn 20-30 meter pr. døgn. Egg som er gytt på 200 meters dyp vil således ved klekking fremdeles befinne seg på omkring 100 meters dyp.

Som nevnt tidligere beveges overflatelaget i et oppstrømningssystem ut fra kysten, mens vannlagene under går motsatt vei. Figur 5.9 viser sirkulasjonen på tvers av Benguelastrømmen i et vertikal snitt vestover fra Lüderitz, basert på resultater fra den hydrodynamiske modellen. Som det framgår av denne modellen er dybden av det øvre vannlaget som drives ut fra kysten ikke stort mer enn 20 meter, mens under dette



**Figur 5.9** Vannsirkulasjonen i et vertikalt snitt på tvers av Benguelastrømmen ved Lüderitz. Basert på numerisk modellering.  
*Cross shelf circulation off the Benguela current off Lüderitz. Results from the primary production numerical model shown in figure 4.7.*



øvre laget beveger vannet seg inn mot kysten i et tykt lag. Dette medfører at lysing-eggene som gytes i dypet ut fra kysten ikke står i fare for å bli spredt ut av økosystemet, slik som antydning i hypotesene for pelagiske fiskeegg og larver fra sardiner og ansjos. Tvert imot blir de transportert inn mot de kystnære områdene med høy planktonproduksjon og gode næringsbetingelser. At eggene gytes i de store virvelområdene langs kysten bidrar også til å redusere eventuelle tap av larver. Videre vil eggenes særegne robusthet overfor de ekstremt lave oksygenkonsentra-

sjonene i dypet være en effektiv beskyttelse mot nedbeiting fra de fleste andre marine organismer som ikke kan overleve ved så lave oksygenkonsentrasjoner. På denne måten synes lysingbestandene i Benguelastrømmen på en optimal måte å ha tilpasset seg de "negative" egenskapene til oppstrømningssystemer med den kraftige overflatetransporten ut fra de næringsrike områdene og som kan føre til tap av egg og larver. Lysingens enestående evne til å tåle vannmasser med oksygensvikt gir den også et stort fortrinn i dette området.

## Giftalger og algegifter i norske farvann

Einar Dahl, Havforskningsinstituttet  
Tore Aune, Norges veterinærhøgskole  
Karl Tangen, OCEANOR

Av totalt ca 4 000 beskrevne, marine planteplanktonarter, kjenner vi til ca 75 giftige. Da snakker vi om naturlig produserte gifter på linje med det som finnes i giftige sopp og i endel høyere planter. Minst 80 % av de toksiske algene finnes innenfor algeklassen Dinophyceae (dinoflagellatene). Resten er fordelt på sju andre algeklasser. Listen over algearter som kan inneholde gifter blir stadig lengre, og også antall algeklasser som kan ha giftige representanter er utvidet over tid. Giftigheten av enkeltarter er i mange tilfeller høyst skiftende, eksempelvis kan innholdet av diarégiften okadasyre i dinoflagellaten *Dinophysis acuminata*, variere fra 0 til 40 pikogram/algecelle. Hvorfor typer og mengder av toksiner i alger varierer, har vi foreløpig begrenset kunnskap om. Men algenes fysiologiske tilstand og miljøforhold de lever under synes å spille en rolle. En del nyere arbeider indikerer at ikke bare algene selv, men også bakterier som lever i tilknytning til algene i noen tilfeller kan stå for giftproduksjonen. Blant de 75 beskrevne, potensielt giftige, planteplanktonarter finnes knapt halvparten i våre farvann. Av disse er det et ti-talls arter som har skapt problemer til nå, og for disse er vår kunnskap om forekomst og utbredelse rimelig god.

Aktuelle algegifter i norske farvann kan deles inn i følgende grupper etter hvilke karakteristiske symptomer de kan gi:

- \* Gifter som kan gi lammelser - "Paralytic Shellfish Poisoning - PSP"
- \* Gifter som kan gi diaré - "Diarrhetic Shellfish Poisoning - DSP"
- \* Gifter som kan true livet til fisk og andre organismer - "Ichthyotoksiner"

I tillegg har man økende oppmerksomhet omkring:

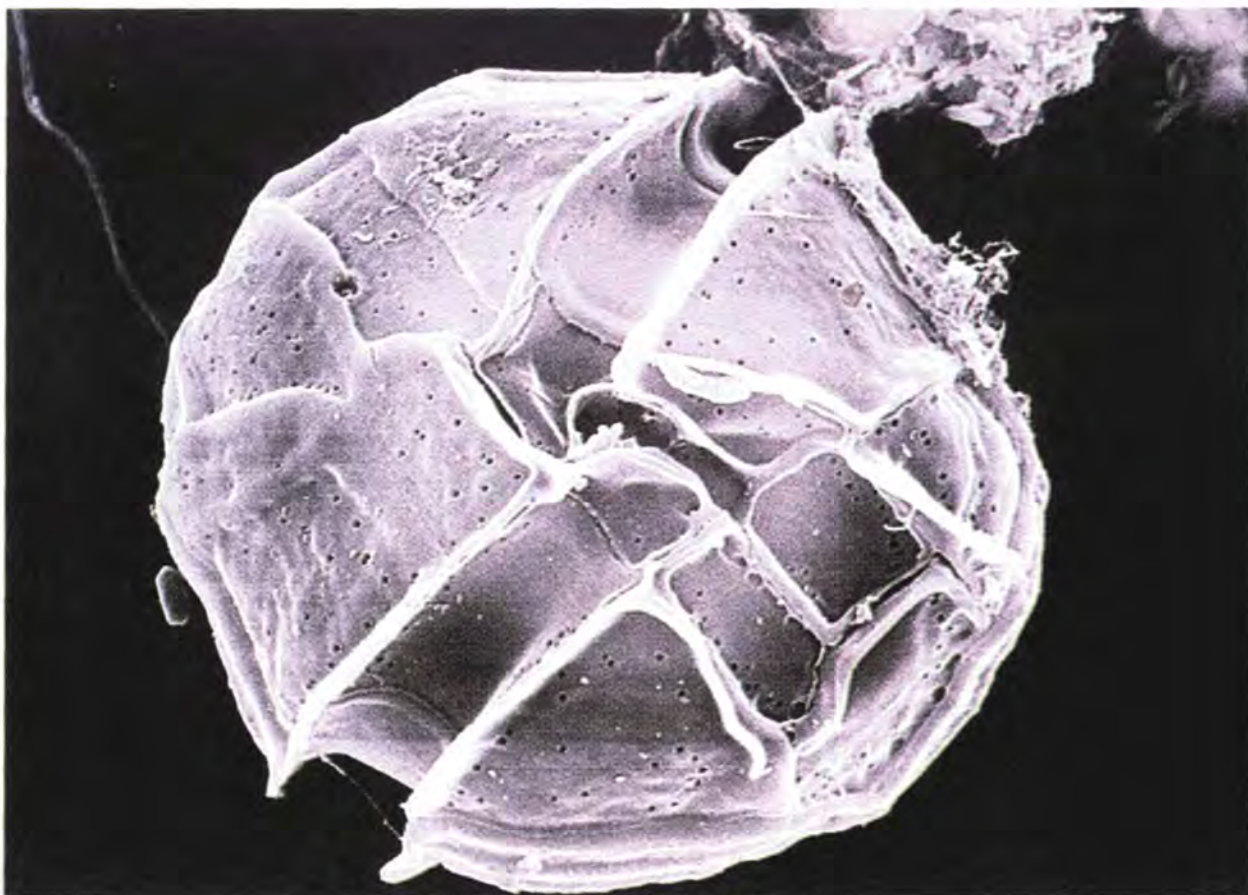
- \* Gifter som kan gi hukommelsestap - "Amnesic Shellfish Poisoning - ASP"

Alle algegiftgruppene kan akkumuleres i skjell og andre algespisende organismer og derved komme inn i næringskjeden, men hittil har man ingen holdepunkter for at ichthyotoksinene representerer et helseproblem for mennesker. Man kan ikke se på skjellene om de er giftige, og giftene brytes ikke i særlig grad ned ved frysing eller koking.

### Alger med paralyserende eller lammende gifter

De paralyserende eller lammende giftene er farligst. Symptomene på PSP kommer bare få minutter etter konsum av giftige skjell, som en brennende, prikkende følelse i munnen. Deretter kjennes nummenhet i armer og ben, og man kan få en følelse av vektløshet. I alvorlige tilfeller oppstår pustebesvær og lammelser. Giftmekanismen er en blokkering av impulsoverføringen mellom nerver og muskler. Det finnes ingen motgift mot PSP. Tømming av mageinnhold og pustehjelp er viktige tiltak. PSP forårsaket to dødsfall i Norge rundt århundreskiftet, etter konsum av blåskjell som var samlet i indre Oslofjord. Også så sent som på 90-tallet har de gitt alvorlige forgiftningstilfeller i Norge, men mengden av hvilesporer i gamle sedimenter sannsynliggjør at problemet var betydelig større i våre farvann for ca 1.000 år siden og tidligere. Alvorlige forgiftninger er rapportert fra store deler av kloden, både i kalde og varme farvann. Giftbærende alger er i første rekke representanter fra dinoflagellatslektene *Alexandrium*, *Gymnodinium* og *Pyrodinium*. Hos oss er det *Alexandrium*-arter som skaper problemer (figur 5.10).

*Alexandrium* danner hvilesporer når en oppblomstringsperiode er over, og sporene synker raskt til bunnen og overvintre i sedimentene.



**Figur 5.10** *Alexandrium excavatum/tamarense*, fotografert i elektronmikroskop.  
*Alexandrium excavatum/tamarense* (*electronmicrograph*).  
(Foto Karl Tangen).

Om våren, gjerne i mars-april, "spirer" noen av hvilesporene og gir opphav til vegetative celler, som svømmer opp i vannet og vokser videre ved to-deling. Det er først og fremst vekstbetingelsene for disse vegetative cellene som avgjør om det blir mange *Alexandrium*, og om det derved oppstår fare for opphopning av toksiner i skjell. I et fjordområde hvor det har vært en større oppblomstring av *Alexandrium*, vil det imidlertid være økt risiko for nye oppblomstringer de påfølgende år på grunn av ansamlinger av hvilesporer i sedimentet. Hvilesporene, som blir værende i sedimentet, kan beholde spiringsdyktighet i flere år, og de inneholder også toksiner. *Alexandrium*-slektens livssyklus, med dannelse av hvilesporer som overvintrer i sedimentene, forklarer hvorfor PSP-fare er et flekkvist problem langs kysten. Når det har vært faren på ferde her i landet, har det erfaringsmessig derfor vært et begrenset problem, både geografisk og i

tid. Tidligere mente man at problemet i første rekke var knyttet til noe næringsrike og gjerne ferskvannpåvirkede fjorder, som Oslofjorden og Trondhjemsfjorden, og at det særlig forekom om våren. Systematiske undersøkelser de senere år har vist at hele kysten fra svenskegrensen til grensen mot Russland kan rammes, og PSP-faren ikke helt kan utelukkes noen tid på året. I dag er forestillingen svekket om at problemet er særlig knyttet til noe næringsrike forhold. De siste tre-fire år har ulike lokaliteter i Møre og Romsdal og Trøndelag vært hardest og hyppigst hjemsoekt. Det står imidlertid fast at april-juni er perioden med størst risiko i Sør-Norge, mens de siste års erfaringer peker på at også august og senere er mer aktuelle perioder for PSP-fare i Nord-Norge. I Midt-Norge har det på 90-tallet vært høye konsentrasjoner av paralytiske gifter i skjell både om våren og høsten. En interessant observasjon, som ennå ikke er fullgodt dokumen-



tert, er at *Alexandrium*celler ser ut til være giftigere dess lenger nordover på kysten de vokser.

I Norge overvåker vi fortsatt giftinnhold i skjell ved musetest. Metoden er svært pålitelig for de paralytiske giftene, og er den eneste godkjente for eksport til blant annet EU. Alternative metoder, som kjemiske og immunologiske, har vært under utvikling og utprøving i 10-20 år, men de er ennå ikke tatt i alminnelig bruk i forvaltnings-sammenheng. En viktig årsak er at vi i dag kjenner mer enn 20 ulike enkelttoksiner innenfor PSP-komplekset. Et poeng i den sammenheng er at musetestene fanger opp alle de ulike paralytiske giftene som måtte forekomme i en skjellprøve og eventuelle synergistiske effekter, mens man ved de alternative metodene bare kan påvise ett eller noen få stoffer pr. analyse, avhengig av metodikk/standarder som er tilgjengelig. Alternative metoder i forvaltnings-sammenheng bør bare nyttes når man har etablert god kunnskap om hvilke paralytiske gifter man faktisk kan treffe på i et område. Norske forskere deltar aktivt sammen med andre forskere i Europa, i regi av den europeiske standardiseringsorganisasjonen CEN, og EUs referanselaboratorier, for snarest mulig å erstatte dyreforsøkene med alternative metoder.

### Alger med diarégivende gifter

Som navnet forteller forårsaker diarégivende gifter diaré, men også kvalme, oppkast og mage/tarmsmerter er vanlig. Symptomene kommer 0,5 - 10 timer etter konsum av giftige skjell og kan vare noen dager. Flere grupper av giftstoffer har til nå inngått i diarégiftkomplekset, men man er nå i ferd med å splitte dette komplekset av giftstoffer som ekstraksjonsmetoden fanger opp i spesifikke stoffer eller grupper av stoffer. De rene diarétoksinene kalles okadasyre og dinophysistoksiner og er såkalte fosfatasehemmere, som påvirker fosforomsetningen i celler. Nyere undersøkelser har også vist at okadasyre og nær beslektede stoffer kan være kreftpromotorer, det vil si at de kan forsterke effekten av kreftfremkallende stoffer. Her er kunnskapen om forholdet mellom doser og respons foreløpig svært mangelfull, slik at det er

for tidlig å si om dette overhodet er relevant for mennesker. De doser av okadasyre man benyttet i de eksperimentelle studiene hvor man fant promotoreffekt var iallfall svært høye.

Hittil har man inkludert yessotoksiner og pectenotoksiner i DSP-komplekset fordi de blir fanget opp i den samme musetesten. Yessotoksiner ble først påvist i Japan og i Sognefjorden. Senere er slike toksiner funnet i Chile, New Zealand og Italia. I New Zealand er yessotoksin knyttet til høye konsentrasjoner av dinoflagellatene *Protoceratium reticulatum* og *Gonyaulax polyedra* (= *Lingulodinium polyedra*). Disse algene er også vanlige langs mange lands kyster, inklusive våre, men det er hittil ikke holdepunkter for å si at de er knyttet til sporadisk akkumulering av yessotoksin i norske skjell. Kunnskapen om yessotoksiner så langt tyder på at de ikke representerer en stor helserisiko i de konsentrasjoner man finner i skjell. Kunnskapen om pectenotoksiner er langt mer mangelfull. Analysemetodene er lite utviklet, og man kjenner ikke eventuelle kildeorganismer. Giftene er skadelig for leveren hos forsøksdyr, men de få dataene vi har tyder ikke på høye konsentrasjoner av pectenotoksiner i norske skjell.

Det er risiko for diarégivende gifter i skjellene som i de senere år i størst grad har hindret bruk av skjell langs kysten og hemmet skjellnæringen. Beskrivelser i legetidsskrift tidlig i dette århundre sannsynliggjør at problemet er gammelt og kjent fra Sognefjorden så tidlig som 1870. Høsten 1984, etter at minst et hundretalls personer ble syke av blåskjell fra kysten av Skagerrak, ble det fokusert på problemet, og en overvåkning etablert. Globalt er DSP foreløpig hyppigst påvist i Europa, men de siste årene er det i økende grad rapportert problemer også fra andre deler av verden, både fra kalde og varme farvann.

Algene som kan bære i seg DSP-gifter finnes i første rekke i dinoflagellatslekten *Dinophysis*, men enkeltarter innenfor andre slekter kan også være giftbærende. Mens *Alexandrium*-slekten har en mer lokal og flekkvis forekomst langs vår kyst, synes *Dinophysis*-slekten i større grad å være knyttet til Kyststrømmen. *Dinophysis*-slekten forekommer derved over større områder



**Figur 5.11** *Dinophysis acuta*, fotografert i lysmikroskop.  
*Dinophysis acuta*, photomicrograph.  
 (Foto: Einar Dahl).

langs kysten og også ofte over lengre tid. Tilsvarende blir det med faren for opphopning av diarégivende toksiner i skjell, og som allerede nevnt, giftigheten innen hver art varierer i meget stor grad, av årsaker vi ikke kjenner.

*Dinophysis*-slekten er i hovedsak representert med tre arter langs vår kyst, *D. acuminata*, *D. acuta* og *D. Norvegica* (figur 5.11). Sistnevnte er mest vanlig og kan finnes i konsentrasjoner på mer enn 1.200 celler/l til alle sesonger. *D. acuminata* har sin hovedsesong sent på våren og gjennom forsommeren, men kan også opptre tallrik utpå høsten. *D. acuta* er mest potent med hensyn til toksinproduksjon blant våre *Dinophysis*-arter, og den har sin sesong på høsten. Det betyr at faren for diarégivende toksiner i skjell er størst etter sommeren. Et problem i den forbindelse er at skjellene ofte ikke greier å kvitte seg med et eventuelt toksininnhold på sen-

høsten, selv om *Dinophysis*-artene blir mer eller mindre borte fra sjøen. Det kommer av at det også blir lite andre, ikke-toksiske alger å spise og kaldt i vannet, slik at skjellenes stoffskifte nedsettes. Derved holder skjellene på toksinene helt til kiselalgenes våroppblomstring i mars-april, når det igjen er mye mat for skjellene.

Kysten av Skagerrak og de indre deler av store fjorder på Vestlandet, for eksempel Sognefjorden, synes å ha størst forekomster av *Dinophysis* og mest problemer med diarégivende toksiner i skjell. De ytre deler av Vestlandet er mindre rammet, og i Nord-Norge er det minst problem. Den mest potente arten, *D. acuta*, blir sjelden observert i mengder over faregrensen nord for Trøndelag, og diarégifter er foreløpig ikke påvist i skjell nord for Helgeland. Lokalt langs Skagerrakkysten synes litt ferskvannspregede og næringsrike fjorder med redu-



sert sirkulasjonsmessig kontakt med Kyststrømmen, å være mindre utsatt for DSP-fare enn den mer åpne delen av kysten. Særlig langs vestkysten av Sverige er dette godt dokumentert, men årsakene til dette er ikke klarlagt.

Også for DSP-toksinene er den sikreste påvisningsmetoden en musetest, men både av dyretiske og andre årsaker ønsker man å redusere bruken av forsøksdyr mest mulig. Derfor foregår det et betydelig arbeide med alternative metoder i de samme fora som arbeider med PSP. DSP-problematikken er langt mer komplisert enn PSP-komplekset, fordi man enda ikke er enige om hvilke toksingrupper som skal inkluderes.

### Alger med gifter som kan gi hukommelsestap

Skjellforgiftning med hukommelsestap (ASP) ble første gang rapportert fra Canada i 1987. Over ett hundre mennesker som spiste blåskjell fra øya Prince Edvard på østkysten av Canada ble syke, og fire døde. Foruten ulike, mer akutte besvær i fordøyelsessystemet og ulike nevrologiske effekter, fikk noen pasienter varig hukommelsestap (amnesia) etter forgiftningen. Sistnevnte gav navn til forgiftningen. Giften er identifisert til en aminosyre, "domoic acid". Det er særlig innenfor en kiselalgeslekt kalt *Pseudo-nitzschia* at giften kan forekomme, med risiko for å bli akkumulert i skjell. *Pseudo-nitzschia* er en vanlig algeslekt langs vår kyst; seks-åtte ulike arter kan forekomme. Den arten som forårsaket den alvorlige forgiftningsepidemien i Canada, *Pseudo-nitzschia multiseriata*, ble opprinnelig beskrevet (under et annet navn) fra Drøbakundet i Oslofjorden. Ved et par anledninger de siste årene har det forekommet mye *Pseudo-nitzschia* hos oss og også i danske farvann, opptil flere millioner celler/l, men ASP-toksiner har hittil ikke blitt påvist i norske skjell. Etter at problemet første gang ble rapportert fra østkysten av Canada, har det spredd seg også til vestkysten av USA og Canada. I løpet av de siste årene er det også registrert på New Zealand, i Japan og Spania, og i Nederland har de nylig isolert og dyrket en art av slekten *Pseudo-nitzschia* med potensial til toksinproduksjon. Påvisningen i Danmark er noe usikker. Problemet rykker

dermed nærmere og nærmere inn på oss. ASP-toksinet kan påvises med musetest for PSP, dersom man forlenger observasjonstiden. Dessuten er det utviklet en enkel kjemisk metode som sannsynligvis blir etablert som europeisk standard i løpet av kort tid. Denne metoden er allerede innarbeidet i Norge.

### Alger med fiskegifter (ichthyotoksiner)

Algetoksiner som dreper fisk og andre dyr har vært kjent i mange år. Det dreier seg om ulike giftstoffer og forgiftningsmekanismer som bare er delvis kjent. Man har ikke holdepunkter for at disse toksinene representerer et helseproblem for mennesker, men de har lokalt gitt store tap for enkelte fiskeoppdrettere. Også dette er et globalt problem. Hos oss har særlig representanter fra slektene *Gyrodinium*, *Chattonella*, *Chrysochromulina* og *Prymnesium* forårsaket betydelig fiskedød i oppdrettsanlegg, tildels også noe dødelighet blant villfisk. Problemet har vært størst på Skagerrakkysten og mindre nordover.

*Gyrodinium aureolum* har gitt fiskedød i oppdrettsanlegg fra Skagerrak til Senja i Nord-Norge. De store oppblomstringene har vært knyttet til Kystvannet og har ofte startet i Skagerrak på sensommeren, for så å ende på Vestlandet utpå høsten. Oppblomstringen på Senja i mai 1982 skyldtes trolig bestander som var overvintret fra en stor oppblomstring lengre sør høsten 1981. *Chrysochromulina polylepis* forårsaket en massiv dødelighet blant marine organismer i mai-juni 1988 langs kysten fra Göteborg til Hauge-sund. Siden har den knapt skapt problemer. Den er svært vanlig hvert år fra mai og utover et par-tre måneder. En slektning, *Chrysochromulina leadbeateri*, blomstret i de indre deler av Lofoten, Vestfjorden, og forårsaket betydelig dødelighet i oppdrettsanlegg i mai-juni 1991. Muligens var den årsak til dødelighet igjen under en lokal oppblomstring i Troms i 1998. Lokalt i Ryfylke, hovedsaklig i Hylsfjorden og Sandsfjorden, har *Prymnesium* spp. forårsaket fiskedød hvert år i juli-august fra 1989 til og med 1996. Toksiske oppblomstringer av *Prymnesium* spp. i innelukkede brakkvannsområder er kjent fra gammelt av, f. eks. fra Danmark på 30-tallet.



I mai 1998 var det fiskedød i oppdrettsanlegg på sørvestkysten av Norge, og noe dødelighet av villfisk langs vestkysten av Danmark. I forbindelse med fiskedøden var det mye av algeslekten *Chattonella* i sjøen, med dominans av arten *Chattonella* aff. *verruculos*, som tidligere ikke er registrert i Europa. Det er uklart om denne algen var giftig eller om fiskedøden skyldtes at algen kan skille ut mye slim, som kan tette gjellene på fisken. Analyser av fisken viste fravær av toksiner i fiskekjøttet, på samme måte som for de to store *Chrysochromulina*-episodene. Det var også andre potensielt skadelige/giftige alger tilstede under fiskedøden i 1998, som *Heterosigma akashiwo* og *Distephanus speculum* (uten indre skjelett av kisel).

Også PSP-forbindelsene er etter definisjonen ichthyotoksiner. Betydelig dødelighet i oppdrettsanlegg og villfiskbestander, som brisling og flyndrearter, falt sammen med en større oppblomstring av *Alexandrium* i Midt-Norge i 1992. Samme år ødela *Alexandrium* yngelproduksjonen av torsk i pollen Parisvatnet på Vestlandet. Lignende episoder er beskrevet i Canada og på Færøyene, der fiskedøden skyldtes den typiske lammende effekten av PSP-forbindelsene, altså en ren forgiftningseffekt. Svært høye konsentrasjoner av PSP ble påvist i blåskjell i 1992, med en "tvilsom" rekord på over 100 000 "museenheter" pr. 100 gram skjellmat ved Trondheim. Det er den høyeste konsentrasjonen av PSP som hittil er blitt påvist under naturlige forhold i Europa.

## Kva inneber taretrålinga for fisken?

Kjersti Sjøtun

### Stortare - ein viktig ressurs

**S**tortare (*Laminaria hyperborea* (Gunnerus) Foslie) dannar tette, undersjøiske skogar i ytre kyststrok langs norskekysten (figur 5.12). Enkelte stader kan stortareplantene bli tre-fire meter lange, og opp til 15-20 år gamle. Der tilhøva er best for vekst og overleving, vil ein kunna finna ein plantetettleik på opp til rundt 15 store stortareplanter pr. m<sup>2</sup>, og biomassetettleiken kan nå opp i 15-30 kg pr. m<sup>2</sup>. Stortare er hovudråstoffet for produksjonen av alginat i Norge. Alginat er eit sterkt gel-dannande stoff, som kan nyttast i svært mange samanhengar. Det blir nytta til så ulike ting som tilsetjingsstoff i matvarer, under trykking av mønster på tekstilar, og i medisinsk forskning.

Norge har omlag 1/4 av verdsproduksjonen av alginat, og kvart år blir det hausta 160 000 -170 000 tonn stortare her i landet til alginatproduksjon. Taretrålinga går føre seg i området Rogaland - Møre og Romsdal, og uttaket av tare er høgast i Møre og Romsdal. Stortare blir trålt ved at ein slede utstyrt med lange tindar blir dregen etter ein båt. Tindane peikar i fartsretninga, og dei store tareplantene festar seg mellom tindane under trålinga og blir rivne laus. Trålsleden kan vera opp til 3,5 meter brei. Den måten trålinga går føre seg på gjer at det blir danna gater i tareskogen, der dei store tareplantene er fjerna og småplanter ofte står att (figur 5.13). Gode trålfelt med slett og jevn botn



**Figur 5.12** Tareskog på ein lokalitet i Øygarden kommune utanfor Bergen.  
*Kelp forest at a locality from the county of Øygarden, near Bergen.*  
(Foto: Vidar Wennevik).



og høg tettleik av stortare, blir trålt grundig. Dette fører til at det blir danna store og meir eller mindre samanhengande opne områder i tareskogen, der dei store tareplantene er fjerna.

Trålinga etter stortare i Norge tok for alvor til i byrjinga på 70-talet, og auka sterkt fram mot 90-talet. Etterkvart som mengda med hausta stortare har auka, har det nokre stader oppstått konflikthar mellom taretrålarar og kystbefolkninga. Det har m.a. blitt hevda at fjerning av tare gjennom taretråling kan føra til større grad av bølgerosjon på sandstrender, og at taretråling og fjerning av tareskog kan verka inn på den lokale førekomsten av hummar, sjøfugl eller fisk.

### Er tareskogen eit viktig leveområde for fisk?

Tareskogen representerer eit tredimensjonalt leveområde med ein rik flora og fauna. Mesteparten av faunaen av lågareståande dyr i tareskogen finn ein inne i den greina strukturen som festar tareplanta til fjellet, haptéren, eller mellom epifyttane på stilken. (Epifyttar er alger og dyr som veks på makroalger). Di større og eldre tareplantene er, di meir arts- og individrik

fauna finn ein i tilknytning til epifyttar og haptér. Sidan taretrålinga selektivt fjernar dei største og eldste plantene i tareskogen, blir mesteparten av den tilknyttfaunaen i tareskogen også fjerna der det blir taretrålt. Ei rekkje fiskeartar er ein naturleg del av samfunnet i tareskogen, og det er tidlegare vist at ein stor del av desse også hentar mykje av føda si her. Det er t.d. vist at bergnebb som er fanga i tareskogen, har funne all maten sin blant den tilknyttfaunaen i tareskogen. Ei omfattande fjerning av gamle og store tareplanter med assosiert fauna gjennom taretråling vil dermed kunna føra til at mattilbodet for fisk vil kunna bli redusert i det trålte området.

Tareskogen vil også kunna ha ein annan økologisk funksjon for dei fiskeartane som finst der. Den tette tareskogen vil kunna representera ein god skjulestad for fisk, der faren for å bli oppeten er mindre enn i eit meir oppe område. I Stillehavet er det gjennomført ein del undersøkingar av kva verknad ein eksperimentell fjerning av tare (*Macrocystis*; kjempetare) har på fisk. For ein del fiskeartar sitt vedkomande førte fjerning av tare til ein redusert tettleik av fisk. Desse resultatata vart knytta både til at dei opne områda



**Figur 5.13** Taretrålinga fjernar selektivt dei store stortareplantene, og småplantene står att. *The kelp harvesting results in a removal of the large kelp plants from the kelp forest, whereas most of the understory plants will remain.* (Foto: Vidar Wennevik).



utan tare representerte eit meir risikofylt miljø der ein del fiskeartar var meir utsett for bytte-  
etarar enn i eit tareskogsområde, og til at mattil-  
bodet vart dårlegare i dei områda der tare var fjerna.

Når det gjeld tilhøva i Nord-Atlanteren, så er det lite kjent kva økologisk rolle stortareskogen spelar for kystnær fisk. I dei områda i Nord-Norge der kråkebollar har beita ned store deler av tareskogen, veit vi at det finst lite fisk. Det er difor svært sannsynleg at stortareskogen er eit viktig leveområde for mange av dei vanlege, kystnære fiskeartane. Observasjonar av lite fisk i taretomme område i Nord-Norge har imidlertid liten overføringsverdi til taretrålte område. Tareskogen i eit trålfelt blir trålt kvart 5. år, og stortaren veks relativt raskt opp att mellom kvar tråling. Trålinga fører heller ikkje på langt nær til at all tare og vegetasjon forsvinn i eit område, medan kråkebollebeitinga gjerne resulterer i store område reinska for både tare og andre makroalger, bortsett frå skorpedannande kalkalgar. For å finna ut meir om kva taretrålinga kan ha å sei for den lokale førekomsten av fisk, vart det i 1996 sett i gang eit NFR-støtta prosjekt ved Havforskningsinstituttet. Prosjektet vart gjennomført som eit felteksperiment, der stortare vart fjerna ved taretråling i ein del av eit område, og førekomst og fordeling av fisk i området vart registrert før og etter den eksperimentelle taretrålinga.

#### **Korleis fordeler fisken seg i høve til taretrålte område og område med tareskog?**

Ein lokalitet i Øygarden kommune utanfor Bergen vart valt ut til gjennomføringa av forsøket. Lokaliteten bestod av ei bukt, ca 100 m brei og 120 meter lang, og ca 12 meters djupn på det djupaste. Bukta var eksponert mot ope hav mot vest, og tett og stor stortare dominerte vegetasjonen i bukta. Den eksperimentelle taretrålinga vart gjort ved at ein taretrålar trålte den eine sida av bukta. Ved hjelp av dykking vart fisk talt langs faste observasjonslinjer i bukta, markert med oppmerka tau. Ut frå desse observasjonene vart tettleik og fordeling av fisk berekna.

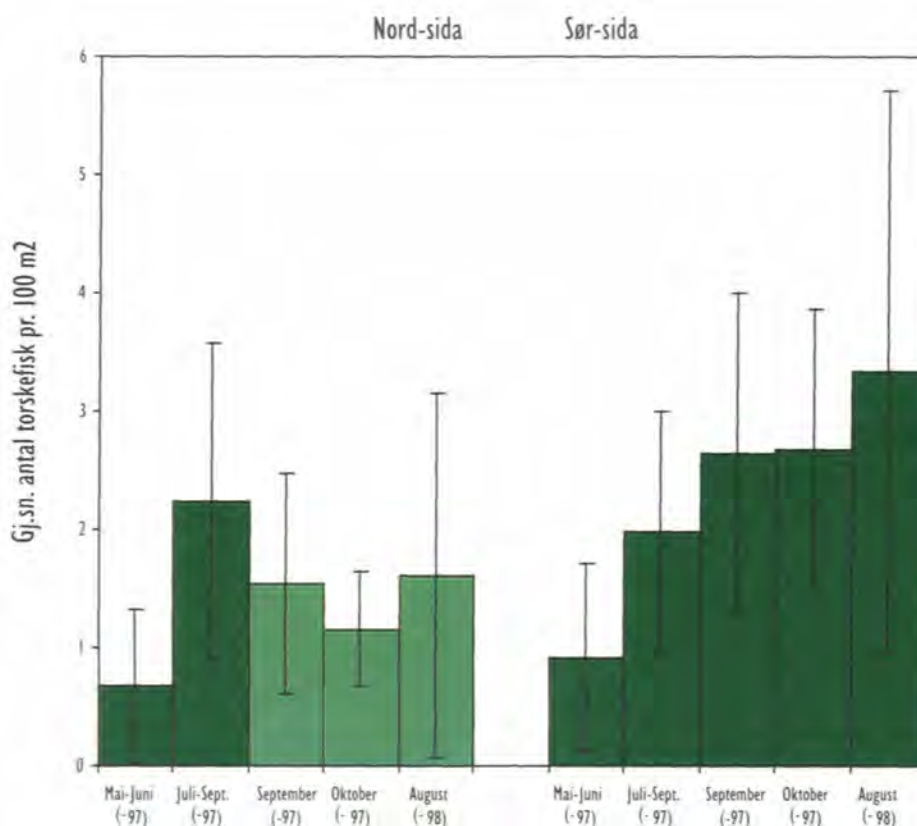
Dei fiskeslaga som hyppigast vart observerte på lokaliteten, var torskfisk som sei og lyr og dei

vanlegaste leppefiskartane. Den eksperimentelle taretrålinga fann stad i september 1997, og fordelinga av fisk i bukta vart registrert gjentekne gonger før og etter taretrålinga; frå mai til oktober 1997 samt i august 1998. I august 1998 vart det i tillegg gjennomført ei grundig registrering av leppefisk på den trålte og den utrålte sida av bukta. Resultata av leppefiskregistreringane viste at det eitt år etter trålinga fanst like mykje leppefisk (hovudsakleg bergnebb) i det taretrålte området som i kontrollområdet med tareskog. Gjennomsnittleg låg tettleiken av leppefisk på respektive 52 og 59 fisk pr. 100 m<sup>2</sup> i det taretrålte området og i kontrollområdet.

Observasjonar av torskfisk vart delt inn i to grupper: liten torskfisk, som vart definert som fisk med ei lengd på under 10-15 cm, og større torskfisk. Ei samanlikning av fordelinga av torskfisk på kontrollsida og den sida av bukta som vart trålt, viste at det ikkje var nokon systematisk forskjell på tettleiken i dei to områda, verken før eller etter den eksperimentelle trålinga. Dette gjaldt registreringane av både små og større torskfisk. Tettleiken av større torskfisk på lokaliteten var lågast i mai og juni (gjennomsnittleg ca 1 fisk pr. 100 m<sup>2</sup>) og høgast i september, før og etter at den eksperimentelle taretrålinga vart gjort på lokaliteten (gjennomsnittleg femseks fisk pr. 100 m<sup>2</sup>).

#### **Taretrålinga kan ha ein viss verknad på åtferd til torskfisk**

Observasjonane av torskfisk viste imidlertid at både sei og lyr i kystnære område kan opptre både enkeltvis og i store stimar. Fisk som sym i store stimar vil kunna ha ulik åtferd og andre krav til leveområdet enn fisk som sym enkeltvis eller i små grupper. For å testa om det kunne vera forskjell på åtferda til stimgåande og ikkje-stimgåande torskfisk i høve til ei endring i tareskogen årsaka av taretråling, vart observasjonar av stimgåande torskfisk tekne ut av materialet, og resultata analyserte på nytt. Sjølv om det var store ulikskapar mellom transekta med omsyn til tettleiken av fisk, var det likevel ein klar tendens til at den ikkje-stimgåande torskefisken fordelte seg ulikt på lokaliteten etter taretrålinga, samstundes som denne gruppa



**Figur 5.14**

Figuren viser tettleik og fordeling av ikkje-stimgåande torskefisk på nord- og sørsida av den undersøkte lokaliteten, frå mai 1997 til august 1998 (gjennomsnittleg tal på fisk pr. 100 m<sup>2</sup>, med standardavvik). Nordsida av lokaliteten vart taretrålt i september 1997, og tettleiken av torskefisk i det trålte området er vist med lysare grønt.

*Abundance and distribution of non-schooling Gadidae at the north and south side of the examined locality, from May 1997 to August 1998 (average no of fish per 100 m<sup>2</sup> ± stdv). At the north side of the locality kelp was harvested in September 1997. The abundance of non-schooling Gadidae in the harvested area is shown in light green.*

fordelte seg relativt likt på lokaliteten før trålinga. Resultata viste at etter at den eksperimentelle taretrålinga var gjennomført, var det ein gjennomsnittleg høgare tettleik av ikkje-stimgåande torskefisk i kontrollområdet med intakt tareskog, enn i det trålte området (figur 5.14). Grappa med ikkje-stimgåande torskefisk fordelte seg ulikt på lokaliteten både rett etter taretrålinga og eitt år etterpå. Resultata kan tolkast dit at torskefisk som ikkje sym i stim, vil føretrekkja å opphalda seg i eit område med tareskog framfor eit meir ope område. Ein lågare tettleik av ikkje-stimgåande torskefisk i det taretrålte området kan imidlertid også tyde at torskefisk her i større grad vil gruppera seg i stimar.

Begge desse måtane å tolka resultata på kan knyttast til ein åtferdsrespons av torskefisk på den endringa tareskogen gjennomgår ved ei tare-

tråling. Stimdanning hos fisk er ein typisk forsvarsmekanisme, som aukar sjansane for at enkeltindivid slepp unna ein bytteetar. Gjennom taretrålinga blir det skapt eit opnare og dermed meir risikofylt område for den mellomstore torskefisken, og det er difor ikkje usannsynleg at dette fører til større grad av stimdanning. Ein høgare tettleik av ikkje-stimgåande torskefisk i tareskogen samanlikna med det taretrålte området kan imidlertid også tolkast dit at individa kjenner seg tryggare og meir verna mot bytteetarar i tareskogen, og at dei difor trekkjer ut av dei opne, taretrålte områda. Ei tredje forklaring på ein høgare konsentrasjon av ikkje-stimgåande torskefisk i tareskogen enn i det taretrålte området kan vera at denne fiskegrappa først og fremst er på matsøk, og at dei trekkjer inn i tareskogen av di mattilbodet her er betre enn i den taretrålte delen av bukta.

## Konklusjon

Den effekten av taretråling på tettleik og fordeling av fisk som vi har kunna visa gjennom dette forsøket, må seiast å vera liten. Tettleiken av både leppefisk og torskefisk var like høg i det trålte området som i området med intakt tareskog. Ei endring av tareskogen gjennom tråling ser likevel ut til å kunna ha ein viss effekt på åtferda til torskefisk, då vi fann ein gjennomsnittleg høgare tettleik av ikkje-stimgåande torskefisk i området med tareskog enn i det trålte området.

Det er imidlertid viktig å hugsa på at desse resultatane skriv seg frå eit avgrensa forsøk. Storleiken på det taretrålte "prøvefeltet" (3000-4000 m<sup>2</sup>) er rett nok ganske representativ for dei opne felta som vi kan finna i eit trålfelt etter tråling, men i eit ferdigtråla felt vil tareskogsområdet kunna bestå av mange slike opne område, med tareskogsbelte av varierende storleik imellom. Det inneber at eit totalt sett mykje større område vil kunna bli påverka, og det er mogleg at den samla effekten av taretrålinga på fisk i eit slikt intensivt trålfelt vil kunna vera større enn den effekten vi har kunna visa gjennom dette feltforsøket.



## Produsert vann - sammensetning og effekter på det marine miljø

Asbjørn Svardal

**F**ra oljevirkosomheten på norsk sokkel slippes det ut store mengder såkalt produsert vann. Jo eldre et oljefelt blir, jo mer produsert vann slippes ut, og det er ikke uvanlig at på slutten av feltets levetid er opptil 98 % av det som pumpes opp fra brønnen produsert vann. I løpet av et oljefelts økonomiske liv kan volumet produsert vann være ti ganger så stort som volumet av oljen som er tatt opp. Hvilke konsekvenser dette enorme utslippet har på det marine miljøet bekymrer både oljeselskaper, myndigheter, den vanlige mann og ikke minst flere vitenskapelige miljøer.

### Produsert vann - hva er det?

Produsert vann består av såkalt formasjonsvann, dvs. vann som naturlig befinner seg i den geologiske strukturen, og vann injisert i reservoaret for å opprettholde trykket. Dette vannet pumpes opp sammen med olje (eller gass), og de to best-

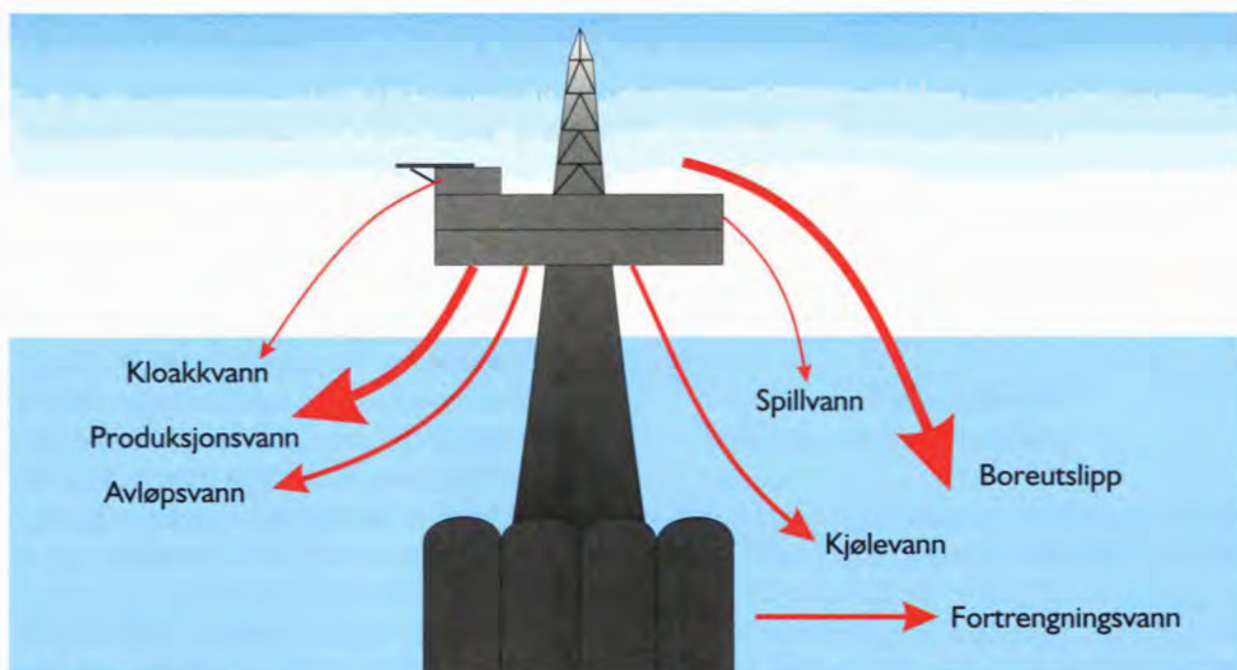
anddelene skilles fra hverandre på plattformen. Det produserte vannet slippes enten ut i havet eller reinjiseres i reservoaret (figur 5.15).

### Periode med sterk økning i utslipp

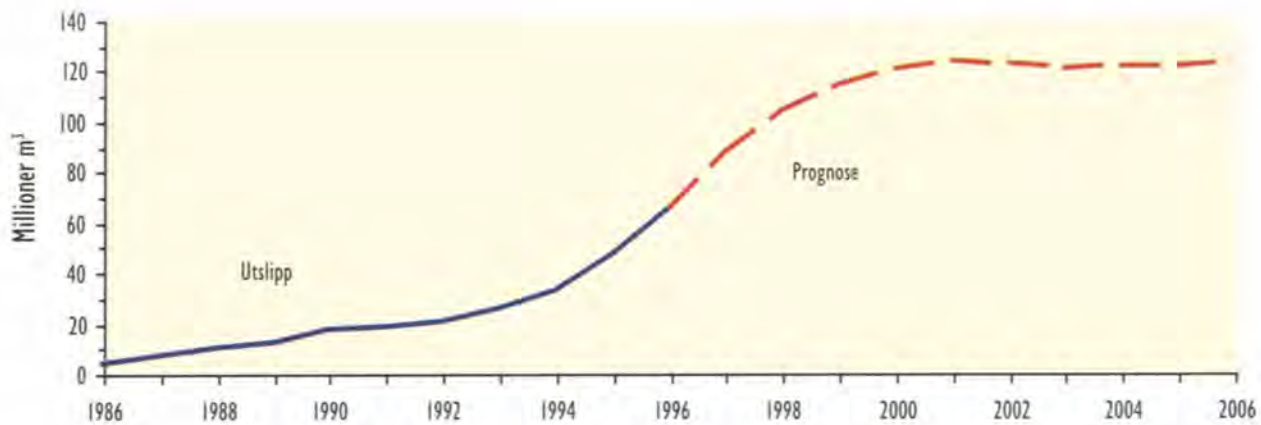
Norge er inne i en periode der størrelsen på utslippene av produsert vann fra olje- og gassvirksomheten øker sterkt (figur 5.16). Fra et utslipp på 26 millioner m<sup>3</sup> i 1993 ventes utslippet i år 2000 å være på 120 millioner m<sup>3</sup>. Dette skyldes at en rekke olje- og gassfelt begynner å tømmes.

### Hva består det produserte vannet av?

For å kunne ha kvalifiserte meninger om effektene av utslippene av produsert vann, er det nødvendig å vite hva dette kjemisk sett er sammensatt av. Grovt sett kan komponentene grupperes i følgende kategorier:



**Figur 5.15** Utslipp til vann fra en oljeproduksjonsplattform.  
*Discharges to water from an oil production platform.*



**Figur 5.16** Prognose over utslippet av produsert vann fra norske olje- og gassproduksjonsplattformer. *Prognosis of water production from Norwegian oil and gas production platforms.*

- \* olje
- \* tungmetaller
  - Barium (Ba)
  - Kadmium (Cd)
  - Kopper (Cu)
  - Jern (Fe)
  - Kvikksølv (Hg)
  - Bly (Pb)
  - Sink (Zn)
- \* radionuklider
  - Radium (<sup>226</sup>Ra)
- \* tilsetningskemikalier
  - Avleiringshemmere
  - Korrosjonshemmere
  - Biocider
  - Emulsjonsbrytere
  - Forskjellige vannbehandlingsmidler
  - Skumdempende midler
  - Parafin-asfaltenbehandlingsmidler
- \* salt
  - Hovedsakelig koksalt
  - løst oksygen (lave mengder)

Deler av det produserte vannet har vært i kontakt med de geologiske formasjonene i millioner av år. Sammensetningen er derfor feltavhengig og vil også kunne forandre seg ettersom produksjonstiden øker, da stadig mer vann må injiseres i strukturen for å opprettholde trykket.

Tabell 1 gir en oversikt over den kjemiske sam-

mensetningen av produsert vann på norsk sektor i Nordsjøen, samt resultatene fra feltstudier av bakgrunnsnivåer av noen komponenter i produsert vann.

#### Innvirkning på det marine miljø

Fra ovenstående er det klart at produsert vann består av et veldig stort antall forskjellige kjemiske komponenter, der noen er definerte mens andre er det ikke. Utslipp over et visst nivå av noen av disse forbindelsene kan medføre endringer i et økologisk system. Graden av endring vil avhenge av mange faktorer, som for eks. utslippsmengden og miljøets kapasitet til å absorbere, nytte eller uskadeliggjøre forurensningene. Noen forurensningskomponenter er lettere å uskadeliggjøre enn andre, noen tas lett opp i næringskjeden, mens andre ikke blir tatt opp.

Noen komponenter i det produserte vannet kan tjene som direkte næringsemner for diverse marine mikroorganismer, og slike finnes først og fremst i fraksjonen av organiske syrer. Utslipet av kortkjedede fettsyrer er høyt (tabell 1), og når en vet at disse er næring for mange forskjellige mikroorganismer er det lett å forestille seg at dette kan forrykke sammensetning og mengde av den naturlige fauna i området. Visse mikroorganismer, får ekstra gode vekstvilkår, noe som kan lede til at andre fortrenses. Resultatet kan være en forskyvning i den naturlige artssammensetningen i området.

**Tabell 1**

Kjemisk sammensetning av produsert vann fra oljeproduksjonsfelter på norsk sektor i Nordsjøen sammenlignet med observerte bakgrunnsnivåer.  
*Chemical composition of produced water from oil production fields in the Norwegian sector in the North Sea compared to observed background levels.*

Kjemisk forbindelse	Enhet	Variasjonsbredde	Midlere verdi	Bakgrunnsnivå	
				Variasjonsbredde	
THC (IR)	mg/l	15-60	44	it	
BTEX	mg/l	1-67	6	it	
NPD	mg/l	0,06-2,3	1,2	9-185 ng/l	
PAH	µg/l	130-575	468	1-45 ng/l	
Organiske syrer (< C6)	mg/l	55-761	368	it	
Fenoler (C0-C4)	mg/l	0,1-43	8	it	
Ba	mg/l	0,2-228	87	22-80 µg/l	
Cd	µg/l	0,4-5	2	4-23 ng/l	
Cu	µg/l	22-82	10	20-500 ng/l	
Fe	mg/l	0,1-15	4,3	1,8 µg/l	
Hg	ng/l	0,1-26	1,9	1-3 ng/l	
Pb	ng/l	0,4-8,3	0,7	20-81 ng/l	
Zn	mg/l	0,5-13	7	0,3-1,4 µg/l	
<sup>226</sup> Ra	Bq/l	it	it	it	

it: ikke tilgjengelig

THC	Total HydroCarbon
BTEX	Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene fraction
NPD	Naphthalene, Phenanthrene, Dibenzothiophene og deres C1-C3 alkylhomologer
PAH	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons
PCB	Polychlorinated Biphenyls

Det er skrevet tykke bøker om potensielle negative effekter av ulike kjemikalier i produsert vann på det marine miljø. Forskjellige testorganismer fra ulike ledd i næringskjeden er blitt brukt, og oppfinnsomme, såkalte "screeningprotokoller" er utviklet for å bestemme miljøeffektene. Oftest medfører dette grove forenklinger av de ulike biologiske systemer næringskjedene er sammensatt av, og resultatene av testene har i mange tilfeller meget begrenset verdi. Livet i havet er også ekstremt forskjelligartet og

det kan til og med være vanskelig å overføre resultatene funnet på et fiskeslag til et annet. For å være sikker på hvilke spesifikke effekter bestemte kjemikalier har på en fiskeart, bør derfor akkurat den arten undersøkes.

I det følgende fokuseres det på de toksiske effektene av de komponentene som finnes i oljefraksjonen i det produserte vannet, og disse deles opp i akutt og kronisk toksisitet.



## Akutt toksisitet

Generelt sett er den akutte toksisiteten av produsert vann på marine organismer liten, men feltvariasjoner finnes. Akutte toksisitetsdata fra produsert vann fra Nordsjøen viser at effektnivået er over 0,3 ml/l for alle organismene som ble testet (alger, skjell, kopepoder, amfipoder, reker og fisk). En venter ikke å finne akutte effekter i områder som ligger mer enn 50 meter fra utslippspunktet. Det er gjort undersøkelser på hvilke fraksjoner i det produserte vannet som forårsaker den akutte toksisiteten. Testene som ble brukt var Micro-tox® (*Photobacterium phosphoreum*), og bionedbrytningstester (OECD 301E). De viste at de største bidragsyterne til den akutte toksisitet til produsert vann var aromat- og fenolfraksjonen.

## Kronisk toksisitet

Kronisk toksisitet eller såkalte langtidseffekter defineres som en påvirkning som er langvarig, eller kontinuerlig over lang tid (uker til år, avhengig av organismens livssyklus). Uttrykket "kronisk" kan brukes til enten å definere eksponeringen eller responsen på eksponeringen

(effekten). Typisk for kronisk eksponering er at den biologiske effekten av denne utvikles langsomt og har lang varighet. Langtidseffekter kan oppsummeres som i tabell 2.

PAH-fraksjonen i oljen har vært gransket meget nøye gjennom mange år med hensyn til langtidseffekter. Det finnes nå betydelig dokumentasjon på at eksponering til ulike PAH-forbindelser både kan føre til kreft og nedsettelse av immunforsvaret samt påvirke reproduksjon og utvikling hos fisk. Alkylerte fenoler er mistenkt for å kunne ha samme virkning som det kvinnelige kjønnshormonet østrogen (hormonermer). PAH-forbindelser og alkylerte fenoler er således fremtredende bidragsytere til både akutt og kronisk toksisitet.

Potensial til å forårsake kronisk toksisitet er nøye knyttet til potensial til bioakkumulering\* og biomagnifikasjon\*. Det er blitt vist at PAH-forbindelser kan akkumuleres i organismer tilhørende lavere trinn i næringskjeden, men i mye mindre utstrekning i organismer høyere oppe (for eksempel fisk). Dette henger sammen med at f.eks. fisk har mye større kapasitet til kjemisk omdannelse (=biotransformasjon fi avgiftning)

**Tabell 2** Oversikt over responser og effekter på forskjellige nivåer i økosystemet.  
*Overview of responses and effects at different levels of the ecosystem.*

Nivå	Type respons	Effekt på neste nivå
Biokjemisk nivå	Forstyrrelser i stoffskifte Påvirkning av avgiftningssystemer	Senke energiproduksjonen Reduksjon i energilagere Organismetilpasing
Organisme	Metabolske forandringer Forandringer i oppførsel Økt sykdomsforekomst Nedsatt vekst og reproduksjon Nedsatt bevegelse Nedsatt motstandskraft mot sykdommer	Nedsettelse av populasjonens yteevne
Populasjon	Forandringer i populasjonsdynamikk Populasjonstilpassning til stress	Effekter på forekomsten av andre organismer og samfunn
Samfunn	Forandringer i artssammensetningen Nedsatt energioverføring Økosystemtilpasing	Svekkelse av samfunnet Nedsatt sekundærproduksjon

\* Disse betegnelsene er definert på slutten av artikkelen

av fremmedstoff enn laverestående organismer. Et konkret eksempel på dette illustrerer situasjonen. PAH-forbindelsen fenantren akkumuleres meget lett i raudåte (*Calanus finmarchicus*). En vesentlig del av den absorberte mengden blir værende i de eksponerte individene over lang tid (måneder). Eksponeres fisk for samme forbindelse, vil stoffet relativt raskt skilles ut etter eksponeringstidens slutt og ikke bli værende igjen i individet. Raudåte kan således være mer utsatt for skadelige effekter av fenantren enn fisk, fordi fundamentale biologiske forsvarsmekanismer er mye mindre utviklet i raudåte.

### **Pågående forskning ved Havforskningsinstituttet (HI)**

En sentral oppgave for HI er å dokumentere miljøtilstanden i havet. Dette innebærer ikke minst å kartlegge innholdet av miljøgifter i fisk, sedimenter etc. fra norske kyst- og havområder. Eksempler på miljøgifter som rutinemessig måles på HIs kjemilaboratorium er PCB, PAH, pesticider og ulike oljekomponenter. Bestemmelsen av slike stoffer er viktig av flere grunner, f.eks. for å se på tidstrender, geografisk utbredelse osv. Likeså viktig er det å vite hvilke biologiske effekter som kan forventes utfra de nivåer av ulike miljøgifter som påvises. Her er det en stor kunnskapsmangel. For å bidra til fremskaffelse av slik viten, har en ved HI de senere år satt i gang flere større prosjekter. Ett av dem tar sikte på å klargjøre om alkylfenoler som finnes i produsert vann innvirker på reproduksjonen hos torsk. Årsaken til at denne problemstillingen søkes belyst har sitt utspring i mistanken om at noen alkylfenoler kan være hormonhermere det vil si ha samme virkning som det kvinnelige kjønnshormonet østrogen.

Undersøkelsen ble utført på førstegangsgytende torsk (skrei), det vil si to år gammel fisk ved forsøksslutt. I tillegg til å undersøke effekter på mor-fisken, ble befruktete egg fra noen av fiskene samlet inn for å studere egg- og larveutviklingen samt vekst og kjønnsutvikling hos yngelen (2. generasjonseffekter).

Det er lagt opp til analyse av et stort antall måleparametre for å få et bredest mulig grunnlag for evaluering av den miljømessige risikoen som er forbundet med alkylfenoler og marin fisk. Av måleparametre kan nevnes: kjønnshormoner, utvikling av kjønnskjertler, påvirkning av ulike enzymer og plømmemasseprotein. Mengden alkylfenoler i ulike vev vil bli målt. En vil også undersøke om disse stoffene påvirker gytingen og utviklingen av egg, larver og juvenil fisk.

Dette er det første studiet av alkylfenolers langtidseffekter på marine fisk: Totalt vil prosjektet ta tre-fire år å gjennomføre, alle analysene inkludert. Noen resultater foreligger, og disse er alle på 2. generasjonseffekter. Så langt er det ingen ting som tyder på at eksponering til alkylfenoler hos foreldrefisk i dette forsøket påvirker vekst, overlevelse eller kondisjon hos avkommet, hverken hos larver eller yngel. Data på kjønnsdifferensiering hos avkommet fra de ulike behandlingene vil først foreligge januar 1999. En kan derfor ikke trekke slutninger med hensyn til eventuelle hormonelle innvirkninger og generasjonseffekter på kjønnsdifferensiering hos torsk.

Studier av langtidseffekter av miljøgifter på det marine miljø er svært viktige å gjennomføre, selv om de er meget ressurskrevende. Havets evne til å motta forurensning kan være stor, men det er ikke akseptabelt å mangle grunnleggende kunnskap om hvor grensen går for når vesentlig skade oppstår. Utslippene av produksjonsvann på norsk sokkel er nå så stort at vesentlig innsats må settes inn for å klargjøre miljøkonsekvensene.

### **Definisjon av noen betegnelser**

Bioakkumulering -  
Oppkonsentrering og lagring av stoffer i planter og dyr på grunn av at de utskilles meget sent.

Biomagnifikasjon -  
Ytterligere oppkonsentrering i dyr som beiter på laverestående organismer som selv har bioakkumulert stoffene.

Er det mulig å varsle temperaturen i havet ett eller flere år fram i tid? De fleste forskere vil umiddelbart svare et klart nei på spørsmålet, og kanskje har de også rett; i alle fall med de kunnskaper vi har i dag. Så hvorfor forsøke å gjøre noe som mange fagfolk vil betrakte som meningsløst? Motiveringen er ganske enkel når man arbeider på et institutt som skal være med å forvalte våre fiskeressurser. Det er påvist klare sammenhenger mellom temperaturen i havet og rekruttering, vekst og fordeling av flere kommersielt viktige arter som torsk, hyse og sild. Det å kunne si noe om temperaturutsiktene i de nærmeste årene vil være et viktig bidrag til en sikrere forvaltning av fiskeressursene.

I atmosfæren skjer endringene raskt, og det er store problemer knyttet til å gi pålitelige varsler om været en uke fram i tid. I havet skjer endringene svært mye langsommere. Derfor kan det være betydelig lettere å si noe om framtiden i havet. Imidlertid er man i dag ikke i stand til å gjøre dette ved å benytte numeriske modeller, delvis på grunn av at disse krever et svært omfattende datagrunnlag, men hovedsakelig fordi de atmosfæriske drivkreftene ikke kan varsles lang tid fremover.

Statistiske modeller derimot, er det mulig å benytte dersom man gjør visse forutsetninger og er klar over de usikkerheter resultatene er beheftet med.

La oss forutsette følgende: Temperaturvariasjoner over flere år er sammensatt av tre hovedtyper:

1. Trender (endringer som forgår i en bestemt retning over flere år)
2. Periodiske svingninger (når endringer i temperaturen gjentar seg uforandret uten opphør)
3. Støy (uregelmessige endringer som ikke er forutsigbare)

Skal vi varsle temperaturen fram for en periode på ett-fem år, behøver vi ikke bry oss trender fordi endringene blir små over en så kort periode. De uregelmessige endringene kan vi heller ikke si noe om. Disse behøver imidlertid ikke være små, og det er disse endringene som er det store problemet når vi skal varsle fram i tid. Det vi må bygge varslet på er de periodiske svingningene. Har vi en lang tidsserie, kan denne analyseres, og vi finner at den er sammensatt av flere periodiske svingninger. I Barentshavet har Havforskningsinstituttet i Murmansk (PINRO) en observasjonsserie som går tilbake til 1921 med månedlige verdier for temperaturen. Analyserer vi denne tidsrekken, finner vi en rekke periodiske komponenter som har en periode fra knappe 3 år til 18,6 år. Flere av disse periodene lar seg forklare ved kjente fysiske fenomener som flerårige tidevannssykluser og den kjente solflekkperioden på 11 år. Disse periodene er også funnet i en rekke andre tidsserier, både i våre områder og helt andre deler av kloden. Imidlertid finnes det også noen få perioder som ikke lar seg forklare slik uten videre.

Under forutsetning av at disse periodiske komponentene fortsetter, vil det være mulig å fremskrive den eksisterende tidsserien. Figur 5.17 viser hvordan samsvaret er mellom observasjoner og modellert temperaturutvikling i Barentshavet fra 1920 og fram til i dag, sammen med prognose for temperaturutviklingen fram til 2005. Som man ser klarer ikke modellen helt å fange opp alle variasjonene. Stort sett er svingningene i modellen mindre enn hva som er observert, men noen få ganger gir modellen også et større avvik fra midlet enn i virkeligheten, som for eksempel tidlig i 1970-årene. Modellen indikerer at temperaturen vil avta i årene fram mot 2003, for så å stige raskt. De siste to årene har modellvarslene vært meget bra. Det som gjør at enkelte forskere er skeptiske til de nye resultatene, er at i de senere årene har det blitt regis-

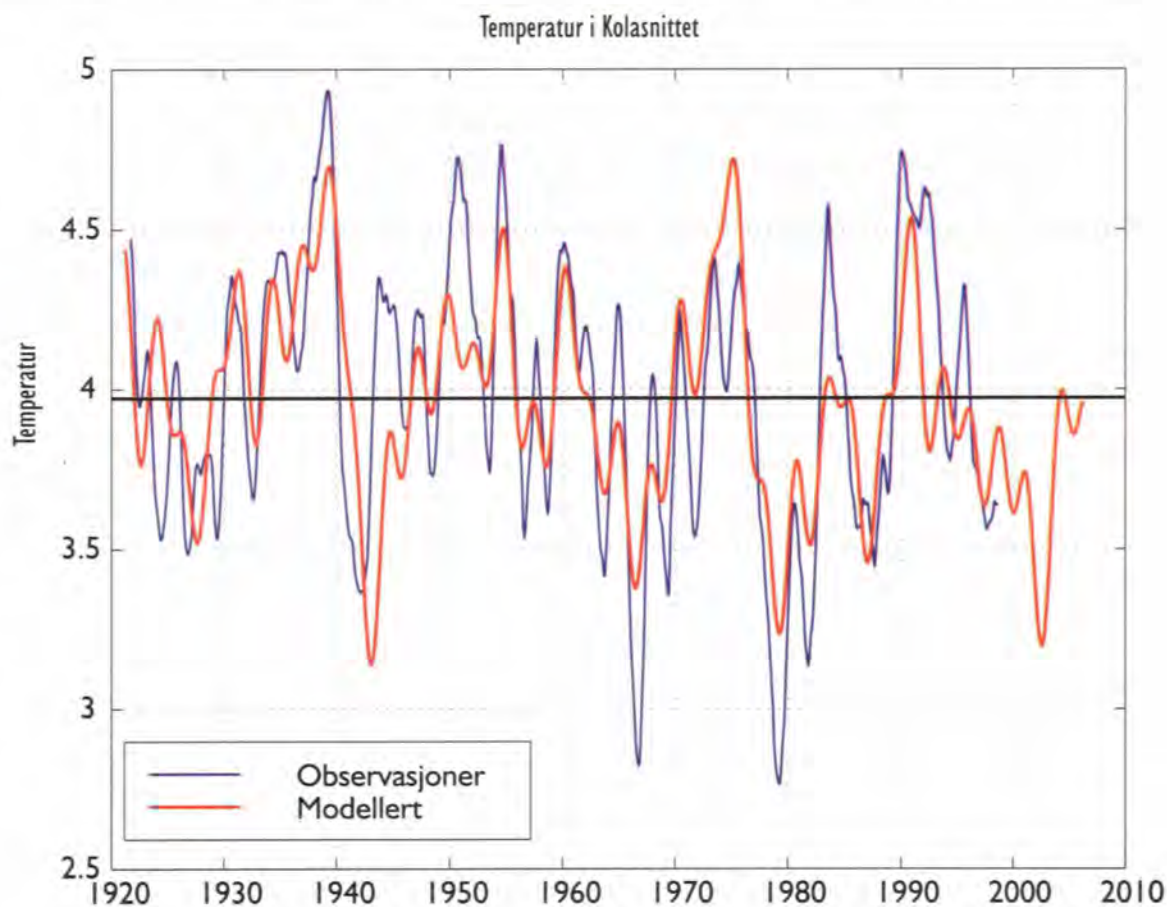


trert forhøyede temperaturer i det Atlanterhavsvannet som strømmer inn i Norskehavet. Det er derfor grunn til å tro at denne temperaturøkningen også vil berøre Barentshavet, og observasjoner i januar 1999 antyder at denne temperaturøkningen også er på vei inn i vestlige deler av havet. Det er grunn til å anta at dette vil svekke den varslede avkjølingen av Barentshavet, og at man i 1999 vil kunne få en kortvarig temperaturøkning. Modellen, derimot, indikerer at man ikke kan forvente noen lang varm periode som man hadde på tidlig på 90-tallet i løpet av de nærmeste fire årene.

Usikkerheten med dette varslet er som nevnt ovenfor de uregelmessige svingningene. Disse vil enten forsterke eller svekke de svingningene som skyldes de periodiske fenomener. Undersøkelser viser at i middel lar nesten halvparten av variasjonene et år fram i tid seg beskrive ved

en slik modell, mens omtrent en fjerdedel av variasjonene tre år fram fanges opp av denne typen varsler. Dette høres kanskje ikke så bra ut, men avvikene er stort sett forholdsvis små. Det såkalte midlere kvadratavvik er på under en halv grad for både ett- og treårsvarslene og den systematiske feilen er på ca 0,25 grader.

Som nevnt innledningsvis er det påvist nære sammenhenger mellom temperatur i Barentshavet og rekruttering og vekst av arter som torsk, hyse og sild. Dette betyr erfaringsmessig at vi ikke kan vente gode årsklasser av de nevnte arter i årene fram mot 2003 dersom disse statistisk baserte prognoser for temperaturutviklingen slår til. 1999 kan på grunn av en midlertidig oppvarming være et unntak. Det kan imidlertid også tenkes at oppvarmingen i det vestlige Barentshavet vil spre seg østover og derved gi en mere langvarig effekt. Vi går altså spennende tider i møte.



**Figur 5.17** Observert og modellert temperaturutvikling i Kolasnittet i Barentshavet sammen med prognose for denne frem til 2005.  
*Observed and modelled development of the temperature in the Kola section together with temperature prognosis up to 2005.*

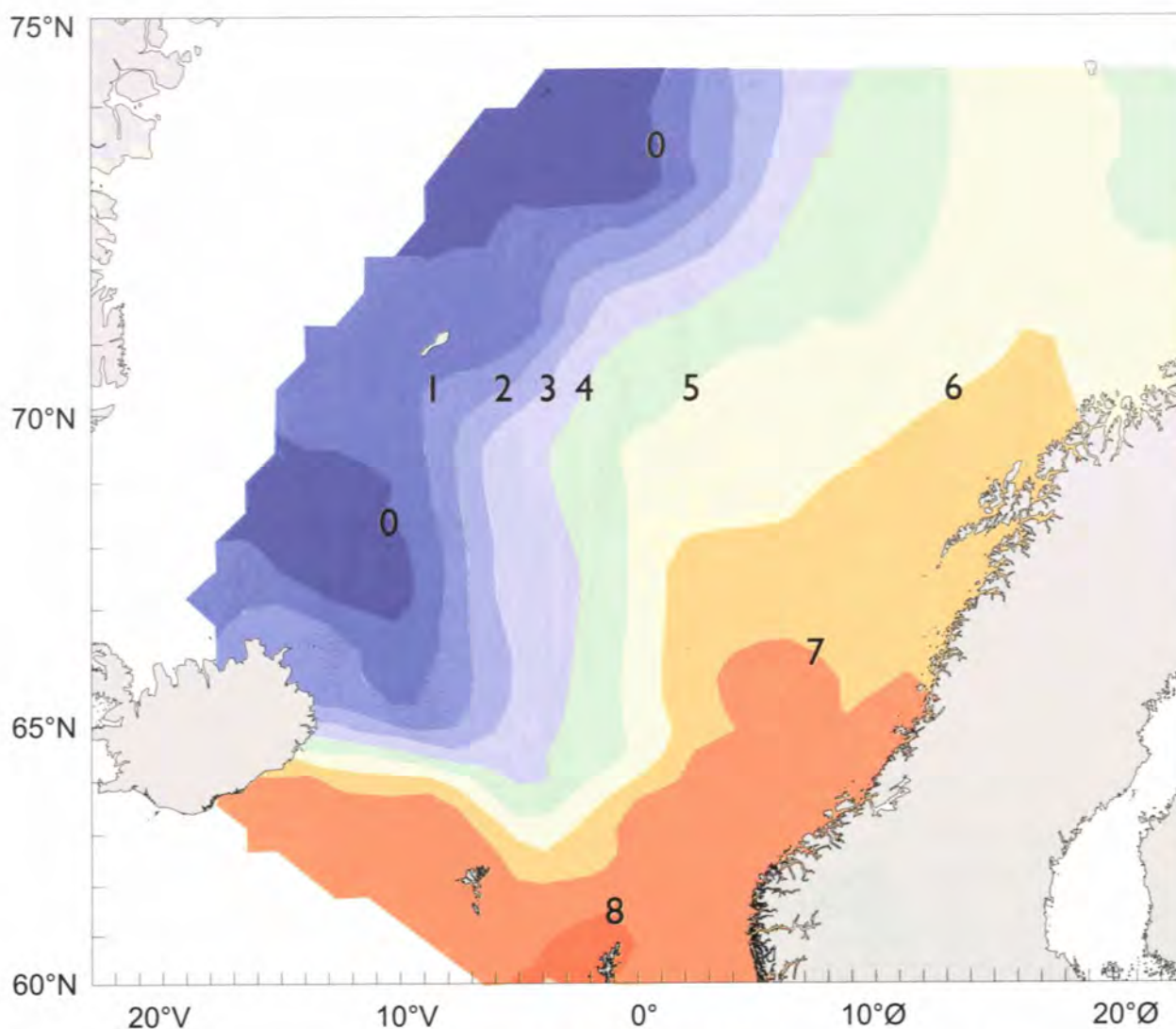
## Klimavariasjoner i Norskehavet gjennom de siste tiårene

Kjell Arne Mork  
og Johan Blindheim

**N**orskehavet som er dominert av Den norske atlantehavsstrømmen (DNAS), utgjør det varmeste området i De nordiske hav (Grønlandshavet, Islandshavet og Norskehavet). Årsaken til dette er at Atlanterhavstrømmen fører store varmemengder inn i området fra sørligere breddegrader. Denne varmemengden er ca. 20 000 ganger den totale norske produksjonen av elektrisk kraft. Varmetapet til atmosfæren i sentrale

deler av Norskehavet (Værskipsstasjon "M") er på litt over 100 Watt/m<sup>2</sup> i gjennomsnitt gjennom året. Likevel er det nok varme igjen i vannsøylen til å holde hele Norskehavet og store deler av Barentshavet isfritt.

Grønlandshavet og Islandshavet er dominert av kalde, arktiske vannmasser. En del av dette vannet transporteres inn i de vestlige deler av



**Figur 5.18** Middeltemperatur i 100 meters dyp, observert hovedsakelig i juni siden 1960. (Data fra PINRO, Murmansk).  
*Mean temperature at 100 m depth, observed mainly in June since 1960. (Data from PINRO, Murmansk).*

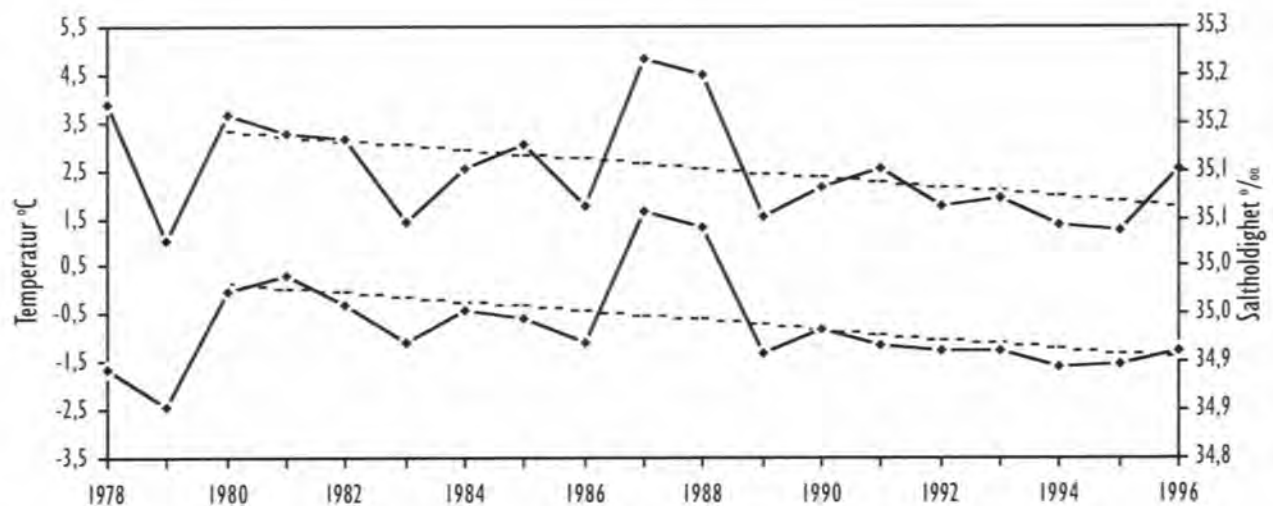


Norskehavet via Øst-Islandsstrømmen som fører arktisk vann inn i de sørvestlige delene av Norskehavet, helt ned mot Færøyene. Noe arktisk vann kommer også inn i Norskehavet direkte fra Grønlandshavet (figur 0.1). Figur 5.18 viser den midlere sommertemperaturen i 100 meters dyp i Norskehavet, basert på russiske observasjoner som er tatt regelmessig siden begynnelsen av 1960-årene. I sonen der de atlantiske vannmassene i Norskehavet møter det kaldere, arktiske vannet, finner vi Den arktiske fronten som kjennetegnes av et forholdsvis stort sprang i temperatur på tvers av sonen. Langs denne fronten synker det meste av det arktiske vannet ned og danner et intermediært lag mellom det varme atlantiske vannet i de øvre lagene og det kaldere dypvannet. I frontområdet blander det arktiske vannet seg også inn i vannmassene i de øvre lagene slik at den arktiske innflytelsen kan merkes i det atlantiske vannet helt opp til overflaten og helt inn til egga langs norskekysten.

Den avtagende trend i temperatur og saltholdighet er blitt tydeligere de senere årene etter som de få tidsseriene vi har i området er blitt lengre. Spesielt gjelder dette tidsserien fra Værskipsstasjon "M" som går tilbake til 1948 og en serie av russiske snitt som har vært tatt om sommeren siden begynnelsen av 1960-årene. Samme trend finnes også i den nordvestlige de-

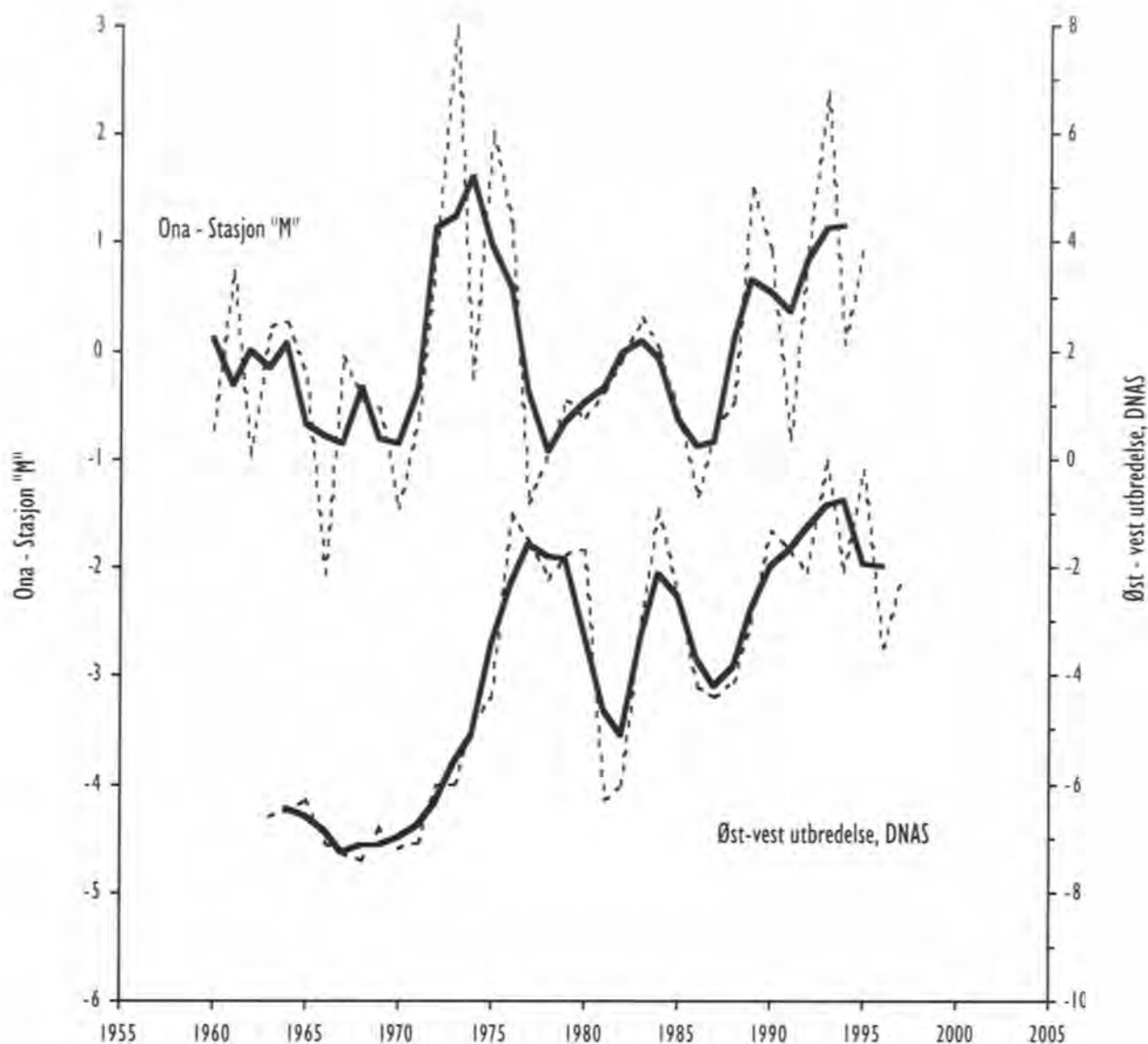
len av Svinøysnittet. Dette fremgår av figur 5.19 som viser sommertemperatur og -saltholdighet i dette området fra 1978 til 1996, midlet mellom 200 og 400 meters dyp. I Færøy-Shetlands-kanalen, der det atlantiske vannet kommer inn i Norskehavet, har både temperaturen og saltholdigheten steget siden slutten av 1970-årene. Også i Svinøysnittet har strømgrenen ved eggakanten blitt varmere siden 1978.

Strømmen av arktisk vann fra vest synes hovedsakelig å være vinddrevet. Øst-vestutstrekningen av Atlanterhavstrømmen varierer med intensiteten av sørvestlige vinder i Nordøst-Atlanteren, eller med andre ord, med hyppigheten og intensiteten av lavtrykk som passerer opp gjennom De nordiske hav fra Atlanterhavet. Dette fremgår av russiske målinger både langs 63°N og langs 65°45' N. Figur 5.20 viser posisjonen av strømmens vestgrense i snittet langs 65°45' N, definert av en saltholdighet på 35.0 ‰. Figuren viser også utviklingen av forskjellen i lufttrykk mellom Ona fyr på Romsdalskysten og Værskipsstasjon "M" i Norskehavet (62°N, 02°Ø). Disse verdiene er en indeks for den midlere N-S komponenten i vindfeltet basert på observasjonene i månedene desember-mars. Figuren viser stor samvariasjon mellom øst-vestutbredelsen av det atlantiske vannet og trykkindeksen. Når trykkforskjellen har en stor positiv verdi (kraf-



**Figur 5.19** Sommertemperatur (øvre kurve) og -saltholdighet i den nordvestlige delen av Svinøysnittet fra 1978 til 1996, midlet mellom 200 og 400 meters dyp. *Temperature (upper graph) and salinity in summer, in the north western part of the Svinøy Section, averaged between 200 m and 400 m depth.*





**Figur 5.20** Øverste kurve: Vinterindeks for forskjellen i lufttrykk mellom Ona fyr og Værskipsstasjon "M", basert på middelverdier for månedene desember-mars. Verdier for hver vinter med 3-års glidende midler er vist. (Data fra Det norske meteorologiske institutt.)  
 Nederste kurve: Øst-vestutbredelse av Den norske atlantehavsstrømmen i et snitt langs 65°45"N. Vestgrensen er bestemt av den vestligste geografiske lengden hvor det er vann med saltholdighet over 35 enheter. Årlige verdier med 3-års glidende midler er vist. (Data fra PINRO, Murmansk.)  
*Upper graph: Winter index of the mean sea level pressure gradient between Ona light house (63°52"N,06°33"E) and Ocean Weather station "M" (66°N,02°E), based on observations during December-March. Values for each winter with 3-year moving averages are shown. (Data from the Norwegian Meteorological Institute.)*  
*Lower graph: East - west extent of the Norwegian Atlantic Current in a section along 65°45'N. The western limit is defined of the most western longitude with water of salinity in excess of 35 units. Annual values with 3-year moving averages are shown. (Data from PINRO, Murmansk).*

tig vind fra sørvest), ligger vestgrensen av det atlantiske vannet langt mot øst. Kraftige sørvestlige vinder trykker således strømmen østover mot norskekysten. Figuren viser også en forsinkelse

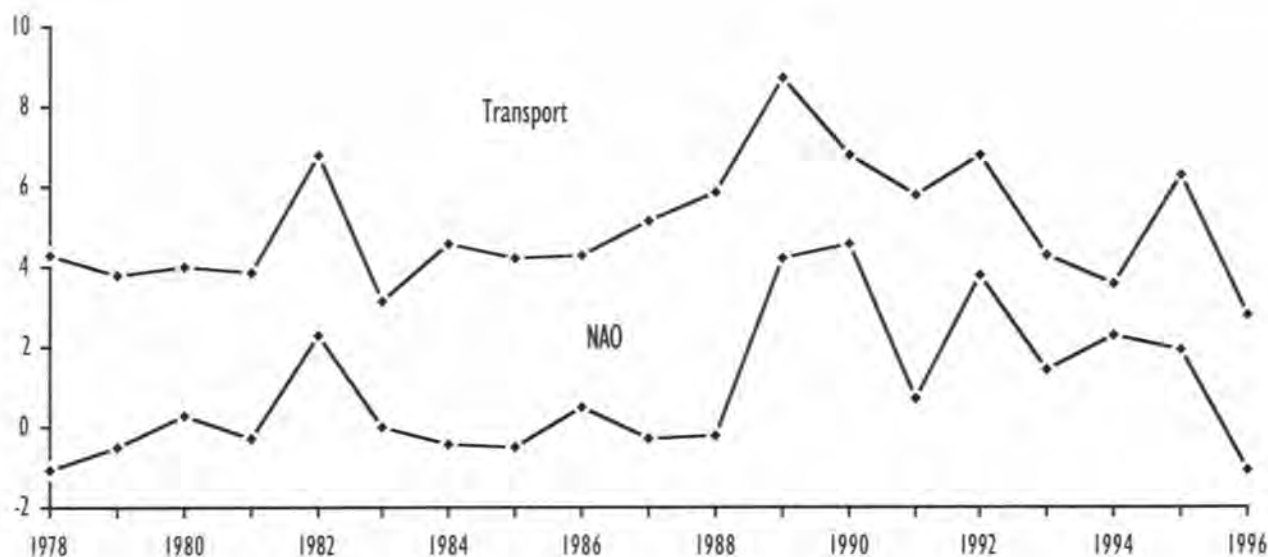
på ca to år mellom lufttrykket og utbredelsen av atlantehavsvannet. Denne effekten av vind forholdene er ikke et lokalt fenomen som er begrenset til Norskehavet. Det er også en god sammen-

heng mellom utbredelsen av Atlanterhavsvannet og Den nordatlantiske lufttrykkindeksen (North Atlantic Oscillation, NAO). NAO er en indeks som representerer forskjellen i lufttrykk mellom «Azorer-høytrykket» (som til vanlig strekker seg vestover fra kontinentet til området ved Azorene) og «Islandslavtrykket». Også i denne indeksen er det vinterverdiene, basert på målinger gjennom månedene desember-mars, som viser størst sammenheng med variasjonene i havet. Sommertransportene av atlantisk vann gjennom Svinøysnittet (geostrofisk beregnet ut fra salt- og temperaturfordelinger i snittet) følger stort sett NAO-indeksen midlet over månedene februar, mars og april (figur 5.21).

NAO indeksen viser store variasjoner med et bredt spekter av tidsskalaer, med ca. 2 og 25 år som fremherskende perioder, men vi ser også variasjoner over flere tiår. Tidsseriene som bare går tilbake til 1860-årene, er for korte til å gi et godt bilde av de lengste variasjonene, men de indikerer en forsterkning av langtidsendringene

gjennom de senere tiårene. Således viste 1960-årene ekstremt store negative verdier. Derimot har det siden ca. 1970 har en generell økning i indeksen, slik at de senere årene viser de største positive verdiene i hele tidsserien. Gjennom de siste 30 årene har vi derfor hatt den største langtidsendringen i NAO-indeksen på 130 år.

Slike endringer har en rekke konsekvenser, både fysiske og biologiske. Disse omfatter for eksempel vindstyrke, nedbør, varmetransporten mellom hav og atmosfære, og endringer i transport og utbredelse av vannmassene i Norskehavet. Endringene i vannmassefordeling er imidlertid en del av mer omfattende forandringer i De nordiske hav. Det har ikke vært dannet nytt bunnvann i Grønlandshavet siden begynnelsen av 1970-årene. Dypvannsdannelsen stopper ved at vintertemperaturen i atmosfæren er for høy eller at vannet i overflaten er for ferskt til at det kan synke ned, selv om det blir avkjølt til frysepunktet. Sentrale deler av Grønlandshavet har i de senere årene vært karakterisert av lav salt-



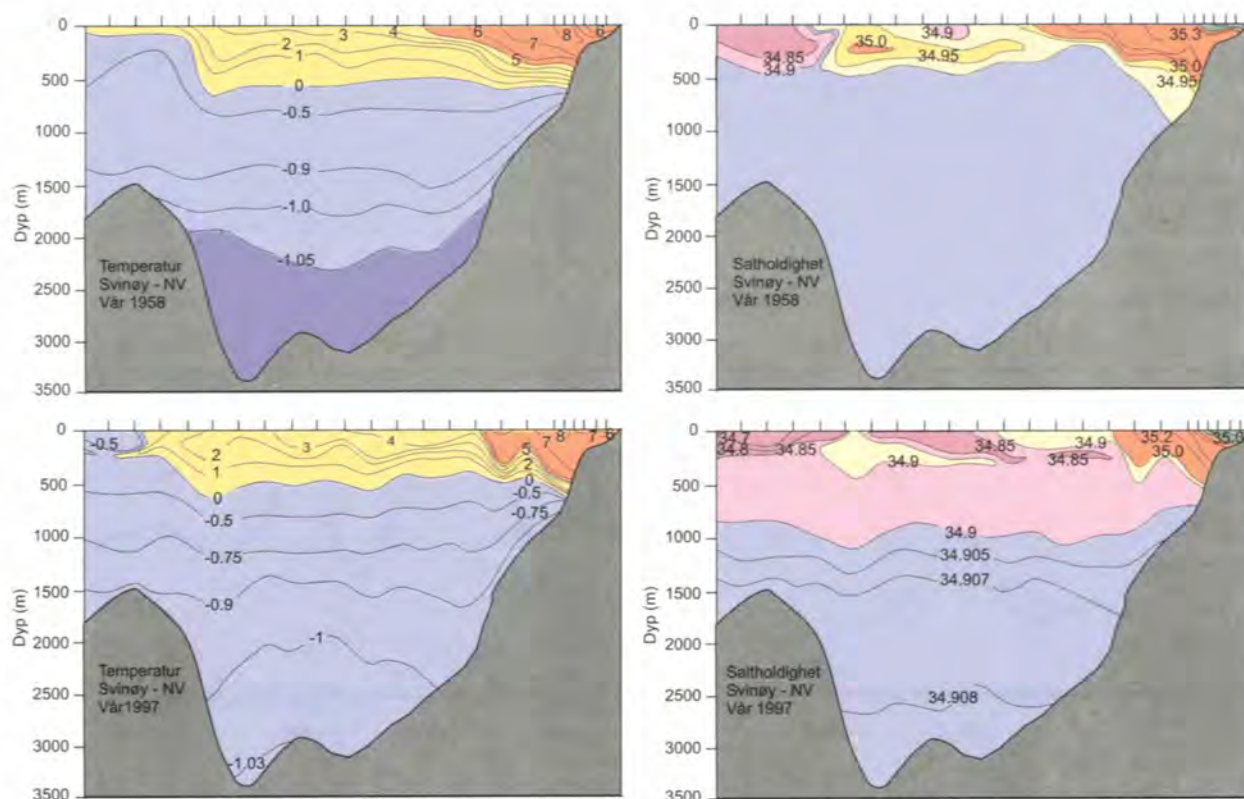
**Figur 5.21** Øverste kurve: Beregnet (geostrofisk) volumtransport av atlantisk vann gjennom Svinøysnittet om sommeren, gitt i Sverdrup (En Sverdrup er  $10^6 \text{ m}^3/\text{sek.}$ ). Nederste kurve. Indeks for Den nordatlantiske oscillasjon (NAO), middel for månedene februar - april.  
*Upper graph: Geostrophic estimates of the volume transport of Atlantic Water through the Svinøy Section in Summer, entered with Sverdrup as unit. (One Sverdrup is  $10^6 \text{ m}^3/\text{sec.}$ .)*  
*Lower graph: NAO index, based on February - April means.*

holdighet i overflaten. Dette synes å stå i forbindelse med utbredelsen av ferskt overflatevann fra Øst-Grønlandsstrømmen.

Når det ikke er dannet dypvann, har nedblandingen om vinteren bare berørt de øvre lagene, ned til toppen av det eldre dypvannet. Det er i hovedsak slikt vann som har spredt seg i De nordiske hav gjennom de siste 30 årene. Dette er godt illustrert i et snitt som er tatt fra Statt mot NV til området nord av Island i 1958, og som ble gjentatt i de samme posisjonene i 1997 (figur 5.22). I 1958 var det arktisk vann med saltholdighet under 34,9 ‰ bare observert over Islandsplataet, mens denne vannmassen i 1997 var dominerende ned til 1000 meters dyp i det meste av snittet. Bare helt i øst, inn mot den norske sokkelen, ble det observert et intermediært lag under det atlantiske vannet som har temperatur og saltholdighet høyere enn henholdsvis

5°C og 35 ‰. Figuren viser også at Den norske atlantehavstrømmen som i snittet er vist med rød farge, var mye smalere i 1997 enn i 1958. Reduksjonen i dannelse av nytt dypvann i Grønlandshavet de senere årene har også medført at dypvannet i Norskehavet er blitt varmere.

Mens virkningene på fiskebestandene av temperaturvariasjoner med tidsskalaer på fem-ti år er rimelig godt kjent, vet vi mye mindre om betydningen av svingninger med omfang og tidsskala som den vi har beskrevet ovenfor. Grunnen er at vi ikke har observasjoner fra tidligere lignende perioder. Det er likevel nærliggende å sette variasjoner som den vi har hatt siden 1960-årene i sammenheng med sildeperiodene. Gjennom århundrene har det vært vekslinger mellom perioder med sild langs kysten, atskilt av perioder da den har vært borte. Slutten av den forrige sildeperioden falt sammen med slutten av perioden



**Figur 5.22** Potensiell temperatur og saltholdighet i et snitt mellom Statt og området nord av Island (mellom posisjonene 62°21'N, 04°40'Ø og 67°43'N, 10°52'V), observert våren 1958 (øverst) og våren 1997.  
*Potential temperature and salinity in a section between Statt and the area north of Iceland (between the positions 62°21'N, 04°40'E og 67°43'N, 10°52'W), observed in spring 1958 (upper panel) and in spring 1997.*



med ekstremt lave verdier av NAO-indeksen i 1960-årene. De tradisjonelle beiteområdene ved Nord- og Øst-Island ble da i løpet av noen få år dominert av vann fra Øst-Grønlandsstrømmen. Temperaturen i vannlagene der silda tidligere beitet ble flere grader lavere enn i tidligere år da området hadde et mer atlantisk preg (se figur 2.6). Dette førte også til at i slutten av 1960-årene ble hele den nord- og øst-islandske kysten blokkert av drivis på sen vinteren og om våren. Silda mistet dermed sine viktigste beite områder og måtte foreta store forandringer i sin beitevandring. Dette, sammen med et for stort fiskepress, førte

få år senere til at sildebestanden ble borte fra Norskehavet, og bare noen små rester overlevde langs norskekysten. Betydningen av overfiske for sammenbruddet i bestanden i forhold til betydningen av klimaendringen kan diskuteres, men det er ingen tvil om at det var den store temperaturforandringen som tvang silda bort fra beiteområdene nær Island. Selv om sildebestanden nå igjen er i økning og beiter i Norskehavet, har den ennå ikke vendt tilbake til de gamle beiteområdene ved Island, sannsynligvis fordi temperaturen der ennå er for lav (figur 2.6).

## Sildas beiting i Norskehavet; grunnlaget for høsting av bestanden

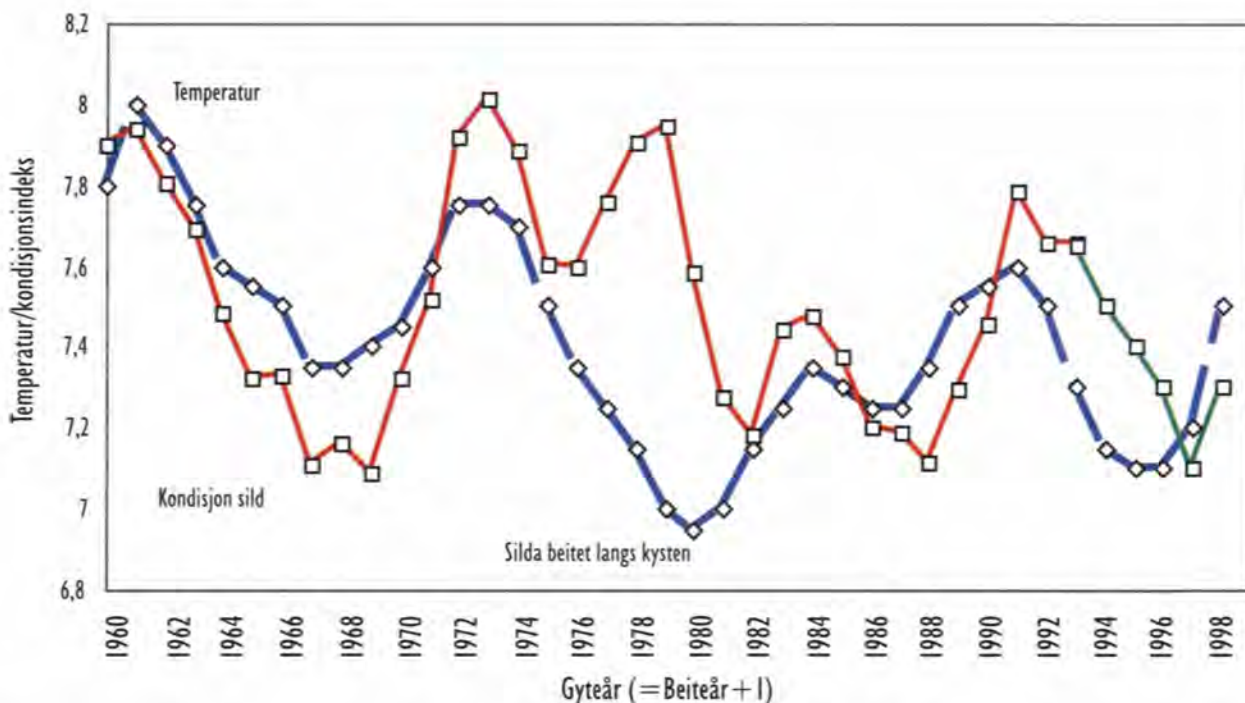
Jens Christian Holst  
og Webjørn Melle

**A**t verdens største sildebestand, norsk vårgytende sild, finnes i våre farvann, skyldes den enestående kombinasjonen av tilstrekkelige gyteareal langs norskekysten, store oppvekstareal for yngelen i Barentshavet, enorme beiteareal for den voksne silda i Norskehavet og Islandshavet, og gunstige hydrografisk/biologiske forhold innen disse områdene. Bestandens størrelse og vekst, og derved hvor mye sild vi kan fiske, avhenger i stor grad av samspillet mellom de hydrografiske forhold, den biologiske produktiviteten innen de tilgjengelige områdene og beitearealenes størrelse. I de senere år er vi i stadig større grad blitt klar over at beiteområdene kvalitet varierer sterkt i perioder. Slike periodiske variasjoner er knyttet til hydrografisk/biologiske koblinger som ennå ikke er godt beskrevet. For sild og annen pelagisk fisk fører

svingningene til ulike beite- og vekstforhold. Resultatet er høyst varierende vektøkning i løpet av beitesesongen i de ulike år.

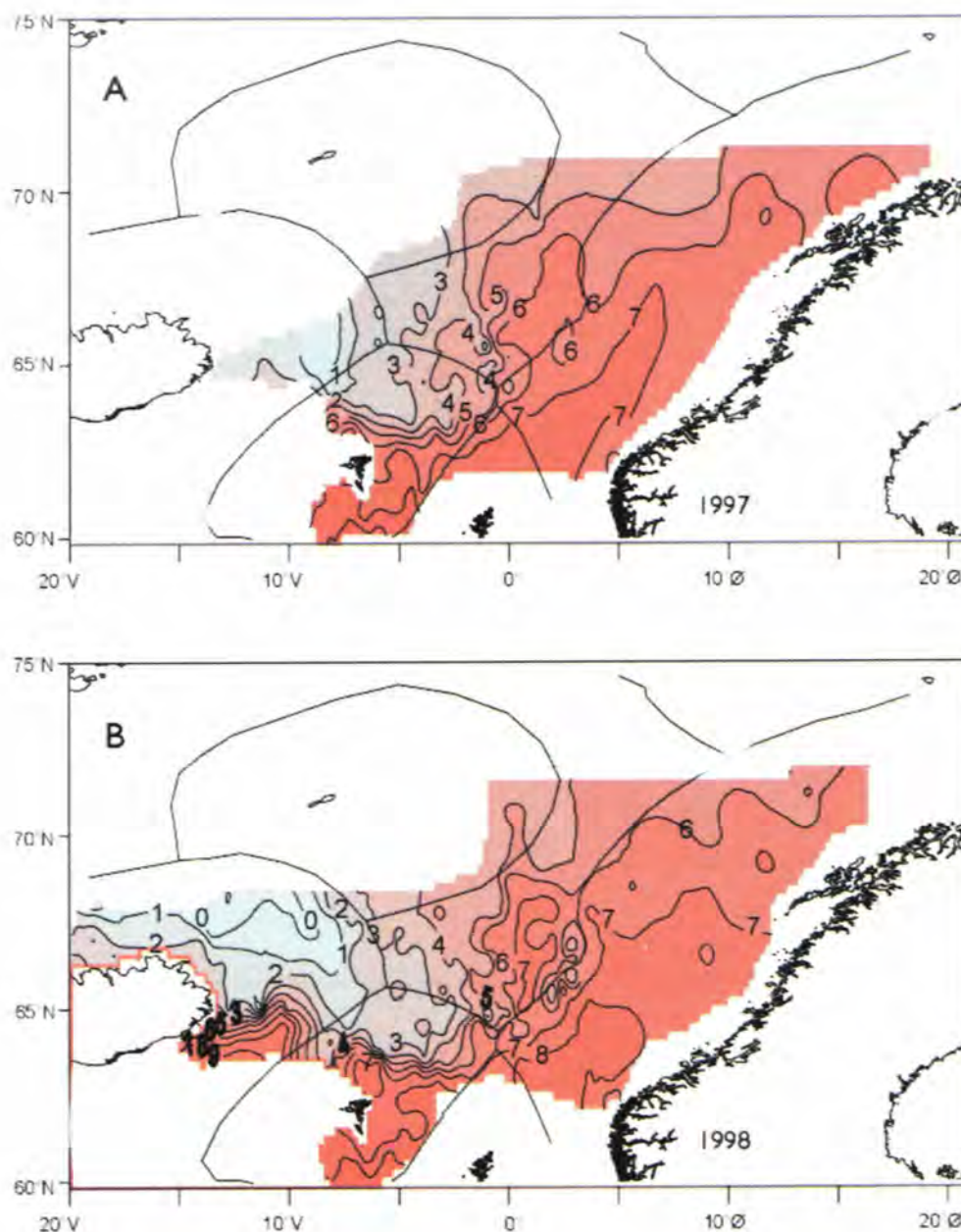
Vi er bare såvidt begynt å forstå hva som ligger bak disse svingningene. I perioden 1996 - 1998 var en igjennom et ekstremt langtids bunnivå i sildas beitesuksess, målt som kondisjon (vekt/lengde) hos gytesilda. Vi kan nå legge frem endel foreløpige resultater og hypoteser som kan belyse årsakene til variasjonen i beitesuksess.

Ut fra gytesildas kondisjon var den biologiske produktiviteten på topp i Norskehavet tidlig på 90'tallet. Deretter sank den og nådde et bunnivå i 1997 med dårlige beitesesonger både for sild (figur 5.23) og makrell. Hva observerte vi, og hvordan tolker vi resultatene så langt?



**Figur 5.23** Kondisjonsindeks (vekt/lengde) for norsk vårgytende sild og temperatur i 50 meters dyp ved stasjon "M" i Norskehavet 1960-1998.  
*Condition (weight - length ratio) of Norwegian spring spawning herring and temperature in 50 m depth at station "M" in the Norwegian Sea, 1960-1998.*





**Figur 5.24** Temperaturer i 50 meters dyp, Norskehavet. A: Mai 1997 og B: Mai 1998.  
*Temperatures in 50 m, A: May 1997 and B: May 1998.*

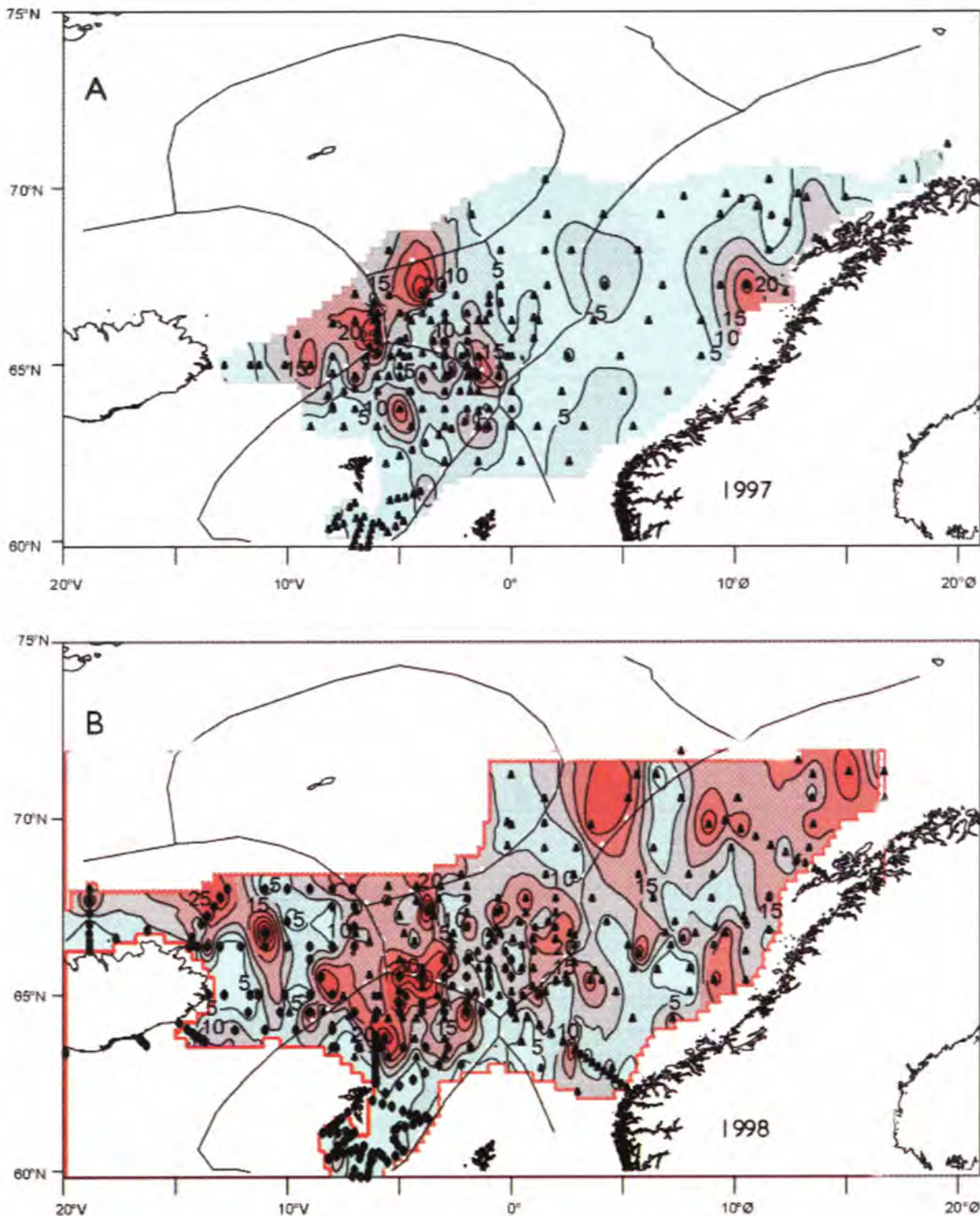
Rundt årsskiftet 1996-1997 endret de havklimatiske forholdene i Norskehavet seg, og vi fikk en økning i innstrømningen av varmt atlantisk vann mellom Shetland og Færøyene (figur 5.24 A). Det varmere vannet spredde seg utover Norskehavet, noe som i utgangspunktet kunne tenkes å være gunstig for sildas beiteforhold. Etter en relativt dårlig beitesesong i 1996 forventet vi derfor en økning i kondisjonen i løpet av 1997-sesongen, noe som ikke skjedde. I første omgang observerte vi en relativt sen start på planteplanktonblomstringen i 1997, selv om tidspunkt for maksimal planteplanktonbiomasse ikke

var forsinket. Ved å sammenligne data fra Svinøy- og Gimsøysnittene i 1996 og 1997 har vi i ettertid kunnet vise at den sene planteplanktonblomstringen syntes å være koblet oppover i systemet til en tilsvarende sen produksjonsstart hos sildas viktigste byttedyr, raudåtebestanden. Mens de største forekomstene av de stadier av raudåte silda beiter på var tilstede allerede i midten av mai i 1996, var ikke disse utviklet før i månedsskiftet juni-juli i 1997. Det synes altså som om en sen start på produksjonen av dyreplankton var ugunstig for silda. Dette bekreftes i de historiske langtidsseriene på sildevekst som viser at sildas



kondisjonsøkning er sterkest i mai og juni. Ca 70-80 % av kondisjonsøkningen skjer i løpet av disse to månedene. Vår tolkning er at den sene starten på oppblomstringen "snøt" silda for de-

ler av sin viktigste beiteperiode i 1997. Vi tror også at næringsverdien av planktonet blir dårligere i disse ekstreme årene. Et stort, ikke opparbeidet materiale av sildemager kan muligens gi



**Fig 5.25** Dyreplankton biomasse (tørrvekt mg m<sup>-2</sup>) i øverste 200 meter i Norskehavet.  
 A: Mai 1997 og B: Mai 1998.  
 Zooplankton biomass in mg dryweight per m<sup>2</sup> in upper 200 m.  
 A: May 1997 and B: May 1998.

svar på flere av disse spørsmålene. Som vi skal gå nærmere inn på senere, observerte vi også at silda vandret raskt vestover i 1997. Allerede tidlig i mai stod hovedtyngden av silda og stanget mot det kalde vannet i nord-øst Islandsstrømmen, ved ca 2<sup>o</sup> vest.

På bakgrunn av den begredelige situasjonen i 1997, var det med spenning vi startet på det internasjonale toktet i mai 1998. Var produktiviteten snudd oppover, eller skulle den videre ned? Oppvarmingen i Norskehavet hadde fortsatt fra året før (figur 5.24 B), men nå observerte vi en mye tidligere start på planteplanktonblomstringen ved Værstasjon "M" enn i 1997. Vi mener at dette medførte en tilsvarende tidlig start i produksjonen av dyreplankton, men har ikke fått bekreftet det ennå fordi materialet ikke er opparbeidet. Indikasjonene på at antakelsene stemmer er likevel sterke, og under toktet i mai 1998 var dyreplanktonbiomassen innen de områdene silda befant seg ca 80 % høyere enn i mai 1997 (figur 5.25 A og B). Mens silda hadde vandret raskt vestover i mai 1997, fant vi hovedtyngden vesentlig lengre øst i 1998 (figur 5.26 A og B). Vi tolker dette dit at de kraftig bedre beiteforholdene senket den vestlige vandringshastigheten, silda fant beite nærmere Norskekysten og traff polarfronten senere enn året før.

På bakgrunn av tilgjengelige data for perioden 1993-1998, mener vi i første omgang å ha grunnlag for modeller som om våren kan forutsi beiteforholdene for kommende sommer. Av flere forhold som må inn i en slik korttidsprognose, kan nevnes tidspunktet for starten på planteplanktonproduksjonen og rådende hydrografiske forhold. Det vil også kunne være mulig å gi langtidsprognoser for beiteforholdene over flere år, basert på prognoser for langtidsendringer i havklimaet.

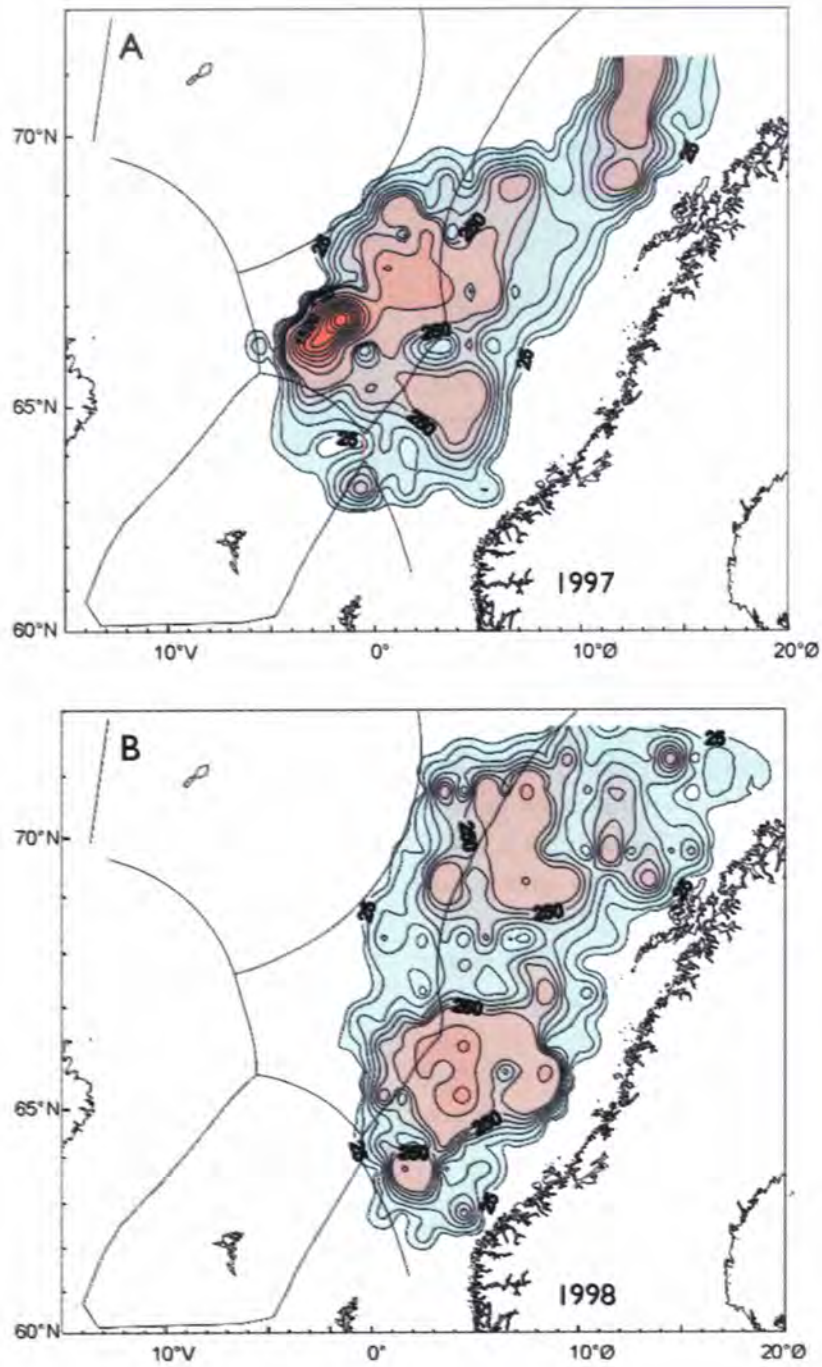
En del av brikkene som trengs for å øke forståelsen av det som skjedde i den beskrevne perioden er ennå ikke på plass. Det gjelder tidsserier som kan fortelle oss hvor ofte klima- og produksjonsforholdene i Norskehavet endres, og i hvilken grad dette skjer parallelt. En annen viktig brikke er prosessstudier som kan bidra til å

forklare hvilke sammenhenger det er mellom klima og biologisk produksjon. Det jobbes derfor målrettet for å fremskaffe disse. Samtidig vil kommende års undersøkelser forbedres kraftig på en del sentrale felt, blant annet ved å ta i bruk nye metoder for datainnsamling.

Variasjonene i vekstsuksess har konsekvenser ikke bare for sildebestanden, men i stor grad også for hvor mye som kan høstes. En effekt er forskjellen i den totale biomassen som kommer inn til kysten etter beitingen. Samme bestand kan veie ca 20 % mer etter år med godt beite enn etter et dårlig. Forskjellen kan altså tilsvare hele den tillatte fiskekvoten og betyr at det i perioder med lav beitesuksess vil være et mindre overskudd som kan fiskes. Med samme kvote vil altså bestanden synke dramatisk raskere i de dårlige periodene enn i de gode. Dette forhold kan forsterkes ved at den naturlige dødeligheten sannsynligvis stiger i de dårlige periodene. For fiskebestander er også den såkalte maternaleffekten, hvor morfiskens kvalitet virker inn på avkommet, en viktig faktor. En maternal effekt kan være at en mager hunnsild produserer færre og dårligere egg enn en fet, og at det derfor må ventes lavere gytesuksess etter år med dårlige beiteforhold enn etter år med gode. I neste omgang påvirker lav gytesuksess bestandsstørrelsen og siden fisket.

For forvaltningen av bestandene ligger den første utfordringen i å innhente kunnskap om dynamikken i de hydrografisk/biologiske koblingene som ligger bak den varierende produktiviteten i havområdene, og ikke minst i å kunne forutsi svingningene lengst mulig inn i fremtiden. Den neste utfordringen er å flette kunnskapen som vinnes inn i anvendte forvaltningsmodeller, noe som vil føre til en vesentlig bedring av presisjonsnivået, både i kortsiktig og langsiktig prognose. Basis for neste generasjon forvaltningsmodeller ligger i en grunnleggende og systematisk forståelse av dynamikken i de fysiske/biologiske koblinger som påvirker fiskebestandenes rekruttering og vekst. For Havforskningsinstituttet er det naturlig å gå inn i et nytt århundre med en sterk målsetting om å frembringe større klarhet omkring disse forhold, og å ta den nye kunnskapen i bruk i forvaltningen av våre fiskeressurser.





**Figur 5.26** Horisontalfordeling av norsk vårgytende sild i Norskehavet.  
 A: April-mai 1997. B: April-mai 1998.  
*Distribution of Norwegian spring spawning herring.*  
 A: April-May 1997. B: April-May 1998.